

# **TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS**

**MARTA FILIPA PIRES VAZ LOPES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas

---

Co-Orientador: Engenheiro Ricardo Jorge Barbosa Santos

JULHO DE 2013

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013- Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

*"A vida constrói-se.  
Constrói-se a partir daquilo que é,  
Na medida em que acreditamos no que pode vir a ser...  
E pomos mãos à obra!"*

Baden Powell



## **AGRADECIMENTOS**

A realização do presente trabalho não seria possível sem o trabalho e a colaboração, direta ou indiretamente, de várias pessoas a quem eu pretendo aqui expressar um profundo e sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, quero deixar um sincero obrigado, ao Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas, que orientou todo o trabalho, pelo acompanhamento, ajuda, ensinamentos e empenho, tendo sido um interveniente importante para o desenvolvimento da presente dissertação, também por toda a motivação transmitida pela área da reabilitação.

Ao Engenheiro Ricardo Jorge Barbosa Santos, obrigada, pela oportunidade que me proporcionou na visita a algumas obras de reabilitação e pelo material que me forneceu acerca dos edifícios abordados na dissertação.

Aos meus pais, irmã, avós e tios, o meu profundo agradecimento por todo o apoio, preocupação e palavras encorajadoras, disponibilizadas ao longo de todo o meu percurso académico. Acima de tudo por me transmitirem valores importantes pelos quais, hoje, reajo a minha vida e decisões com sucesso.

Aos meus amigos, que sempre me acompanharam e que nunca serão esquecidos, obrigada por todo o apoio incondicional prestado, tanto durante a realização desta dissertação como, no decorrer do curso e ao longo da vida.



## **RESUMO**

Nas últimas décadas a engenharia civil orientou-se no sentido da construção de novos edifícios, ficando os edifícios existentes em esquecimento, porém essa realidade tem vindo a modificar-se. A preservação de todo um património arquitetónico tem vindo a ganhar importância e dessa forma, a intervenção no património monumental e nos edifícios antigos tem evoluído de forma crescente. É num contexto de fazer remanescer toda uma herança cultural e histórica que a reabilitação de edifícios antigos ganha destaque nesta área.

A reabilitação de edifícios antigos é uma atividade com bastante complexidade, pois requer um grande conhecimento dos materiais e técnicas que deram vida ao edifício original, de forma a analisar as melhores soluções para otimizar o seu desempenho e satisfazer as exigências atuais de conforto e, assim contribuir para um futuro mais sustentável, preservando sempre que possível as marcas de um passado.

A presente dissertação pretende analisar o estado atual do parque edificado, demonstrando resultados da grande necessidade de intervenção, principalmente nos edifícios antigos, e do crescimento que a reabilitação tem vindo a adquirir. Partindo dessa realidade, é importante o conhecimento aprofundado dos edifícios antigos e, assim, com o contributo de uma pequena amostra e de alguma pesquisa bibliográfica apresentou-se a tipificação dos elementos construtivos que integram a sua envolvente, como as paredes, coberturas e vãos envidraçados.

Já tendo algum conhecimento de como foram inicialmente construídos os edifícios antigos, propôs-se um estudo de melhoria da eficiência energética nos elementos tipificados. Esse estudo apresentou-se numa análise técnico-económica, através do programa OPTITERM - LFC, e tem como objetivo comparar as soluções propostas, a fim de adotar aquelas que sejam técnica e economicamente mais ajustadas à localização e estruturação do próprio edifício, de forma a melhorar níveis de conforto e de bem-estar. Os elementos estudados são as paredes exteriores, as coberturas e os vãos envidraçados.

**PALAVRAS-CHAVE:** edifícios antigos, reabilitação, análise técnico-económica, eficiência energética.





## **ABSTRACT**

In the last decades, civil engineering was oriented towards the construction of new buildings, forgetting the existing ones, however, this situation has been changing. The conservation of the whole architectural heritage has been gaining importance, thereby, the intervention in monuments and old buildings has evolved increasingly. It is in the context of remaining the whole cultural and historical heritage that the rehabilitation of old buildings is highlighted in this area.

Rehabilitating old buildings is a very complex activity because it requires a great knowledge of materials and techniques that gave birth to the original building in order to analyze the best solutions to optimize their performance and meet the current requirements of comfort and thus contributing for a more sustainable future, preserving, when it is possible, the marks of a past.

This essay aims to analyze the current state of the building stock, showing the results of the great need for intervention, especially in older buildings, and the growth that rehabilitation has been acquiring. Based on that reality, a thorough knowledge of the old buildings is very important, and so with the help of a small sample and some bibliographic research the characterization of the constructive elements that comprise its surroundings, such as walls, roofs and glazing areas was presented.

Having already some knowledge of how the old buildings were originally built, a study about the improvement of energetic efficiency on the typified elements was proposed. That study was presented in a technical and economic analysis, through the program OPTITERM - LFC, and aims at comparing the solutions proposed in order to adopt those that are technically and economically more suited to the location and structure of the building itself, so that the levels of comfort and well-being can be improved. The studied elements are the exterior walls, the roofs and the glazing areas.

**KEYWORDS:** old buildings, rehabilitation, technical and economic analysis, energy efficiency.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
 <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	 <b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL .....	1
1.2. ÂMBITOS E OBJETIVOS .....	1
1.3. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
 <b>2. EDIFÍCIOS ANTIGOS .....</b>	 <b>5</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO .....	5
2.3. REABILITAÇÃO EM PORTUGAL .....	12
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	15
 <b>3. DESCRIÇÃO DA AMOSTRA DE EDIFÍCIOS ANTIGOS .....</b>	 <b>17</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	17
3.2. EDIFÍCIO BONJARDIM 953 .....	17
3.2.1. PAREDES .....	18
3.2.2. COBERTURA .....	20
3.2.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	20
3.3. EDIFÍCIO BONJARDIM 1025 .....	21
3.3.1. PAREDES .....	22
3.3.2. COBERTURA .....	23
3.3.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	24
3.4. EDIFÍCIO RUA AIRES DE ORNELAS .....	25
3.4.1. PAREDES .....	26
3.4.2. COBERTURA .....	27
3.4.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	28
3.5. EDIFÍCIO RUA DE VILAR .....	28
3.5.1. PAREDES .....	29
3.5.2. COBERTURA .....	30

3.5.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	31
<b>3.6. EDIFÍCIO RUA ANTERO DE QUENTAL.....</b>	<b>31</b>
3.6.1. PAREDES.....	32
3.6.2. COBERTURA .....	32
3.6.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	33

## **4. TIPIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS ..... 35**

<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2. PAREDES .....</b>	<b>35</b>
4.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	35
4.2.2. PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA .....	36
4.2.3. PAREDES DE MADEIRA .....	39
4.2.4. PAREDES DE TERRA CRUA .....	41
4.2.5. PAREDES DE ALVENARIA DE TIJOLO .....	42
<b>4.3. COBERTURAS.....</b>	<b>45</b>
4.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	45
4.3.2. COBERTURAS COM ESTRUTURA EM MADEIRA.....	45
4.3.3. TIPOS DE UTILIZAÇÃO DO DESVÃO DA COBERTURA .....	47
<b>4.4. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....</b>	<b>48</b>
4.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	48
4.4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	48
4.4.3. CAIXILHARIA.....	54
<b>4.5. TIPIFICAÇÃO TENDO EM CONTA A AMOSTRA.....</b>	<b>56</b>

## **5. MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS ANTIGOS..... 59**

<b>5.1. NOTAS INTRODUTÓRIAS .....</b>	<b>59</b>
5.1.1. TÉRMICA.....	59
<b>5.2. MODELO ECONÓMICO.....</b>	<b>61</b>
5.2.1. CUSTO GLOBAL .....	61
5.2.2. VARIAÇÃO E CUSTO ATUAL DA ENERGIA .....	64
5.2.3. TAXA DE CAPITALIZAÇÃO.....	66
5.2.3.1. Taxas de juro.....	66
5.2.3.2. Taxa de inflação.....	66
5.2.3.3. Taxa de juro e taxa de inflação.....	66

5.2.4. PERÍODO DE RETORNO.....	67
<b>5.3. DESCRIÇÃO DA FOLHA DE CÁLCULO OPTITERM – LFC .....</b>	<b>68</b>
5.3.1. DADOS DE ENTRADA.....	68
5.3.2. DADOS DE SAÍDA.....	70
<b>5.4. SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E SUA ANÁLISE.....</b>	<b>71</b>
5.4.1. PAREDES EXTERIORES.....	71
5.4.2. COBERTURAS .....	85
5.4.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	95
 <b>6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	 <b>111</b>
6.1. CONCLUSÕES GERAIS .....	111
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	112
 <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	 <b>113</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-Percentagem dos diferentes tipos de edifícios em Portugal. (adaptado de: [2]) .....	6
Figura 2.2 - Índice de envelhecimento dos edifícios por NUTS II, em 2011. (adaptado de [2]) .....	7
Figura 2.3 - Edifícios por estado de conservação, em 2011. (adaptado de [3]) .....	8
Figura 2.4 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação. (Fonte: INE,2012a) .....	8
Figura 2.5 - Proporção de edifícios clássicos por estado de conservação e NUTS II. (fonte: INE,2012a) .....	9
Figura 2.6 - Número de edifícios antigos, por localização geográfica NUTS II, por estado de conservação. (adaptado de: [4]) .....	10
Figura 2.7 - Edifícios segundo o tipo de utilização por NUTS II em 1991, 2001 e 2011. (fonte: INE,2011a) .....	11
Figura 2.8 - Alojamentos familiares segundo a forma de ocupação e taxa de variação por NUTS II em 1991, 2001 e 2011. (fonte: INE, 2011a) .....	11
Figura 2.9 - Evolução dos alojamentos segundo a forma de ocupação em 1991, 2001 e 2011. (fonte: INE, 2011a) .....	12
Figura 2.10 - Edifícios concluídos por tipo de obra segundo o destino - Portugal,2011. (fonte: INE,2012b) .....	13
Figura 2.11 - Reabilitações de edifícios e construções novas, Portugal, 1995-2011. (fonte: INE,2012b) .....	14
Figura 2.12 – Número de edifícios e fogos concluídos em construções novas de 1995 a 2011. (adaptado de: [6]) .....	14
Figura 3.1 - Fachada principal e de tardoz do edifício n.º 953 da rua Bonjardim antes da sua reabilitação. Fonte: RIELZA. ....	18
Figura 3.2 - Parede de meação parcialmente rebocada no interior. Fonte: RIELZA. ....	19
Figura 3.3 - Fachada tardoz durante a intervenção e após intervenção. Fonte: RIELZA. ....	19
Figura 3.4 - Janelas da fachada principal, em madeira de batente. Fonte: RIELZA. ....	20
Figura 3.5 - Porta em madeira de batente da fachada principal. Fonte: RIELZA. ....	21
Figura 3.6 - Fachada principal do edifício n.º 1025 da rua Bonjardim. Fonte: RIELZA. ....	21
Figura 3.7 - Parede de meação em alvenaria à vista (vista interior). Fonte: RIELZA. ....	22
Figura 3.8 - Reforço da parede de meação em tabique. Fonte: RIELZA. ....	22
Figura 3.9 - Estrutura da cobertura do edifício n.º 1025 da rua Bonjardim. Fonte: RIELZA. ....	23
Figura 3.10 - Trapeira do edifício n.º 1025 na rua Bonjardim. Fonte: RIELZA. ....	24
Figura 3.11 - Janelas antes da intervenção no edifício. Fonte: RIELZA. ....	24
Figura 3.12 - Janelas após a intervenção no edifício. Fonte: RIELZA. ....	24
Figura 3.13 - Porta exterior antes da intervenção (à esquerda) e uma porta interior depois da intervenção (à direita). Fonte: RIELZA. ....	25
Figura 3.14 - Alçado principal do edifício na Aires de Ornelas. Fonte: RIELZA. ....	25
Figura 3.15 - Fachada tardoz após a reabilitação. Fonte: RIELZA. ....	26
Figura 3.16 - Parede divisória do edifício em tabique simples (à esquerda). Construção de parede divisória em gesso cartonado (à direita). Fonte: RIELZA. ....	26
Figura 3.17 - Interior da cobertura, antes da reabilitação, do edifício na rua Aires de Ornelas. Fonte: RIELZA. ....	27
Figura 3.18 - Planta da cobertura antes e após a reabilitação do edifício da rua Aires de Ornelas. Fonte: RIELZA. ....	27
Figura 3.19 - Janela de madeira antiga (à esquerda) e janela em alumínio (à direita). Fonte: RIELZA. ....	28

Figura 3.20 - Porta interior do edifício. Fonte: RIELZA. ....	28
Figura 3.21 - Alçado da fachada principal (à esquerda) e da fachada tardoz (à direita) do edifício da rua de Vilar. Fonte: RIELZA. ....	29
Figura 3.22 - Fachada principal com revestimento a azulejo pelo exterior (à esquerda) e revestimento interior em pladur e lã mineral (à direita). ....	30
Figura 3.23 - Planta da cobertura do edifício da rua de Vilar. Fonte: RIELZA. ....	30
Figura 3.24 - Interior da cobertura durante o seu processo de reabilitação. ....	31
Figura 3.25 - Porta exterior, antes da intervenção, em madeira de batente. ....	31
Figura 3.26 - Fachada principal (à esquerda) e fachada de tardoz (à direita) do edifício na rua Antero de Quental. Fonte: RIELZA. ....	32
Figura 3.27 - Interior da cobertura durante a sua intervenção. Fonte: RIELZA. ....	33
Figura 3.28 - Isolamento térmico ao nível das varas da cobertura. Fonte: RIELZA. ....	33
Figura 4.1- Capela de Nossa Senhora da Guadalupe, Vila Real. e Sé do Porto Fontes:[8] e [9] .....	36
Figura 4.2 - Paredes de enxilharia. (Fontes: [10] e Flores-Colen, I., Ferreira, V. (). ....	37
Figura 4.3 - Parede de alvenaria de pedra ordinária. Fonte: Flores-Colen, I. <i>et al.</i> .....	37
Figura 4.4 - Paredes em alvenaria de pedra seca. Fontes: [11] e [12]. ....	38
Figura 4.5 - Paredes em cantaria e alvenaria de pedra seca. Fonte: Flores-Colen, I. <i>et al.</i> .....	38
Figura 4.6 - Caracterização de secções transversais de paredes de alvenarias de pedra: (a) pano simples; (b) pano duplo sem ligação; (c) pano duplo com ligação; (d) pano triplo. Fonte: Binda <i>et al</i> , 2000. ....	38
Figura 4.7 - Paredes de tabique simples de edifícios. Fontes: Fernandes,2007; Flores-Colen, I. <i>et al.</i> ) .....	39
Figura 4.8 - Parede de tabique resistente. Fonte: [13].....	39
Figura 4.9 - Parede de tabique simples interior, com duplo tabuado, sem frechal interior, com prumos afastados cerca de 1m e travessanhos pregados à altura do rodapé. Fonte: Teixeira,2004. ....	40
Figura 4.10 - Parede de tabique interior, com duplo tabuado e frechal inferior elevado, apoiado em prumos distanciados cerca de 1m. Fonte: Teixeira,2004.....	41
Figura 4.11 - Parede de tabique não resistente, do edifício da rua Antero de Quental. Fonte: RIELZA. ....	41
Figura 4.12 - Secagem dos blocos (adobes) e parede em adobe. Fonte: Fernandes, 2007. ....	42
Figura 4.13 - Parede em taipa e edifício com parede em taipa. Fonte: Fernandes, 2007.....	42
Figura 4.14 - Tipos de paredes: (a) pano de tijolo ao alto ou cutelo; (b) pano de tijolo assente a meia vez; (c) pano assente a uma vez; (d) pano assente a uma vez e meia. Adaptado de : [14] .....	43
Figura 4.15 - Conjunto de coberturas inclinadas em edifícios antigos. Fonte: [15] .....	45
Figura 4.16 - Esquema estrutural da cobertura inclinada - Asna simples. (Fonte: Branco <i>et al</i> , 2006) 46	
Figura 4.17 - Esquemas de asnas. Adaptado de: Filho e Pimental, 1999; Santos 2009.....	47
Figura 4.18 - Cobertura inclinada com desvão fortemente ventilado (à esquerda) e sobre espaço útil (à direita). Fonte: Freitas <i>et al</i> , 2011. ....	48
Figura 4.19 - Esquema dos componentes de portas e janelas pedonais. Adaptado de: Instituto Português da Qualidade, 2008.....	49
Figura 4.20 - Alçado, planta e corte tipo de janela de batente de sacada. Fonte: Teixeira, 2004. ....	50
Figura 4.21 - Alçado e planta de janela de guilhotina. Fonte: Teixeira,2004. ....	51
Figura 4.22 - Planta, alçado e corte de um tipo de porta exterior de entrada. Fonte: Teixeira, 2004... 51	
Figura 4.23 - Janela. Fonte: [16] .....	52
Figura 4.24 - Janela com vidro superior. Fonte: [17].....	52
Figura 4.25 - Janela de cobertura giratótira. Fonte: [18].....	52
Figura 4.26 - Janela de cobertura projetante. Fonte: [18].....	52



Figura 4.27 - Porta. Fonte: [19] .....	52
Figura 4.28 - Porta com vidro superior. Fonte: [19] .....	52
Figura 4.29 - Caixilharia de madeira. Fonte: [30] .....	55
Figura 4.30 - Caixilharia e gradeamento em ferro forjado - Lapa, Portugal (à esquerda) e janela de aço (à direita). Fontes: fotógrafo David Ramalho e Tutton e Hirst, 2007 .....	56
Figura 5.1 - Evolução do preço de aquisição de energia elétrica para um consumidor doméstico médio. Adaptado de: [33] .....	65
Figura 5.2 - Taxas de inflação e taxas de juro a 12 meses em Portugal. Adaptado de: [34] e [35]. ...	67
Figura 5.3 - Determinação do período de retorno .....	68
Figura 5.4 - Aspeto inicial dos dados <i>input</i> do programa OPTITERM - LFC. ....	70
Figura 5.5 - Dados da solução PE.S1. ....	72
Figura 5.6 - Avaliação económica da solução PE.S1, para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	73
Figura 5.7 - Avaliação económica da solução PE.S1, para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	73
Figura 5.8 - Avaliação económica da solução PE.S1, para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	74
Figura 5.9- Dados da solução PE.S2. ....	75
Figura 5.10 - Avaliação económica da solução PE.S2, para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	76
Figura 5.11 - Avaliação económica da solução PE.S2, para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	76
Figura 5.12 - Avaliação económica da solução PE.S2, para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	77
Figura 5.13 - Dados da solução PE.S3. ....	78
Figura 5.14 - Avaliação económica da solução PE.S3, para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	79
Figura 5.15 - Avaliação económica da solução PE.S3, para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	79
Figura 5.16 - Avaliação económica da solução PE.S3, para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	80
Figura 5.17 - Dados da solução PE.S4. ....	81
Figura 5.18 - Avaliação económica da solução PE.S4 para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	82
Figura 5.19 - Avaliação económica da solução PE.S4 para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	82
Figura 5.20 - Avaliação económica da solução PE.S4 para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	83
Figura 5.21 - Dados da solução C.S1. ....	87
Figura 5.22 - Avaliação económica da solução C.S1 para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	88
Figura 5.23 - Avaliação económica da solução C.S1 para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	88
Figura 5.24 - Avaliação económica da solução C.S1 para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	89
Figura 5.25 - Dados da solução C.S2. ....	91
Figura 5.26 - Avaliação económica da solução C.S2 para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	92
Figura 5.27 - Avaliação económica da solução C.S2 para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	92
Figura 5.28 - Avaliação económica da solução C.S2 para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	93
Figura 5.29 - Dados da solução VE1.S1, com ou sem proteção. ....	97
Figura 5.30 - Dados da solução VE1.S2, com ou sem proteção. ....	97
Figura 5.31 - Dados da solução VE1.S3, com ou sem proteção. ....	98
Figura 5.32 - Avaliação económica da solução inicial VE1, sem proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	98
Figura 5.33 - Avaliação económica da solução inicial VE1, sem proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	99
Figura 5.34 - Avaliação económica da solução inicial VE1, sem proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Bragança (I <sub>3</sub> ). ....	99
Figura 5.35 - Avaliação económica da solução inicial VE1, com proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Lisboa (I <sub>1</sub> ). ....	100
Figura 5.36 - Avaliação económica da solução inicial VE1, com proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Porto (I <sub>2</sub> ). ....	101

Figura 5.37 - Avaliação económica da solução inicial VE1, com proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Bragança (I3). .....	101
Figura 5.38 - Dados da solução VE2.S1, com ou sem proteção. ....	103
Figura 5.39 Dados da solução VE2.S2, com ou sem proteção.....	103
Figura 5.40 Dados da solução VE2.S3, com ou sem proteção.....	104
Figura 5.41 - Avaliação económica da solução inicial VE2, sem proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Lisboa (I1). ....	104
Figura 5.42 - Avaliação económica da solução inicial VE2, sem proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Porto (I2). ....	105
Figura 5.43 - Avaliação económica da solução inicial VE2, sem proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Bragança (I3). ....	105
Figura 5.44 - Avaliação económica da solução inicial VE2, com proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Lisboa (I1). ....	106
Figura 5.45 - Avaliação económica da solução inicial VE2, com proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Porto (I2). ....	107
Figura 5.46 - Avaliação económica da solução inicial VE2, com proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Bragança (I3). ....	107

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Número de edifícios por localização geográfica e por época de construção. (adaptado de: INE,2012) .....	6
Tabela 2.2 - Previsões de tempo para a reabilitação de todo o património edificado antigo, em Portugal. ....	15
Tabela 4.1 - Exemplos de aparelhos construtivos de paredes em tijolo. Adaptado de: Costa, 1939. .	43
Tabela 4.2 - Tipologias dos vãos envidraçados, segundo o movimento das folhas. Adaptado de: Instituto Português da Qualidade, 2008; [20]; [21]; [22]; [23]; [24]; [25]; [26]; [27]. ....	53
Tabela 4.3 – Quadro síntese dos elementos construtivos mais correntes em edifícios antigos. ....	56
Tabela 5.1 - Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis. Fonte: RCCTE, 2006. ....	60
Tabela 5.2 - Coeficientes de transmissão térmica de referência. Fonte: RCCTE, 2006. ....	61
Tabela 5.3 - Níveis de qualidade da solução de acordo com os valores limites de U. Adaptado de: Freitas, V. P. de <i>et al</i> , 2012. ....	61
Tabela 5.4 – Custos de investimento associados às soluções das paredes exteriores em estudo, de acordo com o valor de U. ....	62
Tabela 5.5 – Custos de investimento associados às soluções das coberturas em estudo, de acordo com o valor de U. ....	63
Tabela 5.6 – Custos de investimento associados às soluções dos vãos envidraçados em estudo, de acordo com o valor de U. ....	63
Tabela 5.7 – Dados de entrada do programa OPTITERM - LFC. Adaptado de: [38]. ....	69
Tabela 5.8 - Características da solução de parede inicial. ....	71
Tabela 5.9 - Soluções de reabilitação energética de paredes exteriores. ....	71
Tabela 5.10 - Coeficientes de transmissão térmica da parede exterior, consoante a espessura do isolamento térmico aplicado nas várias soluções. ....	72
Tabela 5.11- Valores da análise económica da solução PE.S1, relativos a Lisboa. ....	74
Tabela 5.12- Valores da análise económica da solução PE.S1, relativos ao Porto. ....	74
Tabela 5.13- Valores da análise económica da solução PE.S1, relativos a Bragança. ....	74
Tabela 5.14 - Valores da análise económica da solução PE.S2, relativos a Lisboa. ....	77
Tabela 5.15 - Valores da análise económica da solução PE.S2, relativos ao Porto. ....	77
Tabela 5.16 - Valores da análise económica da solução PE.S2, relativos a Bragança. ....	77
Tabela 5.17 - Valores da análise económica da solução PE.S3, relativos a Lisboa. ....	80
Tabela 5.18 - Valores da análise económica da solução PE.S3, relativos ao Porto. ....	80
Tabela 5.19 - Valores da análise económica da solução PE.S3, relativos a Bragança. ....	80
Tabela 5.20 - Valores da análise económica da solução PE.S4, relativos a Lisboa. ....	83
Tabela 5.21 - Valores da análise económica da solução PE.S4, relativos ao Porto. ....	83
Tabela 5.22 - Valores da análise económica da solução PE.S4, relativos a Bragança. ....	83
Tabela 5.23 - Resumo dos resultados das soluções de melhoria energética de paredes exteriores, nas zonas climáticas de Inverno. ....	84
Tabela 5.24 - Características da solução de cobertura inicial. ....	85
Tabela 5.25 - Soluções de reabilitação energética de coberturas. ....	86
Tabela 5.26 - Coeficientes de transmissão térmica da cobertura, consoante a espessura do isolamento térmico aplicado nas várias soluções. ....	86
Tabela 5.27 - Valores da análise económica da solução C.S1, relativos a Lisboa. ....	89
Tabela 5.28 - Valores da análise económica da solução C.S1, relativos ao Porto. ....	89
Tabela 5.29 - Valores da análise económica da solução C.S1, relativos a Bragança. ....	90
Tabela 5.30- Valores da análise económica da solução C.S2, relativos a Lisboa. ....	93
Tabela 5.31 - Valores da análise económica da solução C.S2, relativos ao Porto. ....	93

Tabela 5.32 - Valores da análise económica da solução C.S2, relativos a Bragança.....	94
Tabela 5.33 - Resumo dos resultados das soluções de melhoria energética de coberturas, nas zonas climáticas de Inverno. ....	94
Tabela 5.34 - Características das soluções iniciais dos vãos envidraçados, para o Inverno. ....	95
Tabela 5.35 - Soluções de reabilitação energética de vãos envidraçados. ....	96
Tabela 5.36 - Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados, antes e após a aplicação das várias soluções mencionadas.....	96
Tabela 5.37 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, sem proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Lisboa. ....	99
Tabela 5.38 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, sem proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos ao Porto. ....	100
Tabela 5.39 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, sem proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Bragança. ....	100
Tabela 5.40 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, com proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Lisboa. ....	101
Tabela 5.41 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, com proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos ao Porto. ....	102
Tabela 5.42 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, com proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Bragança. ....	102
Tabela 5.43 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, sem proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Lisboa. ....	105
Tabela 5.44 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, sem proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos ao Porto. ....	106
Tabela 5.45 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, sem proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Bragança. ....	106
Tabela 5.46 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, com proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Lisboa. ....	107
Tabela 5.47 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, com proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos ao Porto. ....	108
Tabela 5.48 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, com proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Bragança. ....	108
Tabela 5.49- Resumo dos resultados das soluções de melhoria energética dos vãos envidraçados, nas zonas climáticas de Inverno. ....	109

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

ETICS - External Thermal Insulating Composite Systems

INE – Instituto Nacional de Estatística

IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado

NP – Norma Portuguesa

NUTS - Nomenclaturas de Unidades Territoriais

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

U – Coeficiente de transmissão térmica



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O papel da engenharia civil tem sofrido ao longo do tempo diversas alterações no modo em que, à medida que a sociedade vai evoluindo as necessidades de dar resposta aos seus problemas alteram-se.

Nas últimas décadas, a construção civil orientou-se no sentido da construção de novos edifícios, ficando no esquecimento as intervenções do parque edificado já existente, como consequência disso os centros das cidades foram sendo abandonados. Porém, edifícios já existentes, como o património monumental e os edifícios antigos, conservam toda uma história do ponto de vista social e técnica, que traduzem elementos importantes na compreensão do desenvolvimento evolutivo da capacidade humana de adaptação ao meio circundante.

Neste contexto, surge a reabilitação de edifícios como meio de preservar uma herança cultural fazendo remanescer a história e a vida dos centros urbanos.

A reabilitação de edifícios antigos é um exercício de grande complexidade, pois requiere aos intervenientes um conhecimento multidisciplinar e empírico para que, as intervenções concebidas sejam as mais adequadas a cada caso. É importante um saber alargado das técnicas e materiais que deram origem ao edifício original para que sejam avaliadas e adotadas as medidas mais convenientes à otimização das infraestruturas, dos elementos construtivos e de toda uma série de equipamentos, a fim de satisfazer as exigências atuais de conforto e a contribuir para um futuro mais sustentável.

Prende-se com o seguinte trabalho, analisar o estado dos edifícios nacionais a partir de dados estatísticos que permitem avaliar os edifícios existentes, a sua época de construção e o seu estado de degradação atual. Deste modo é notória a crescente necessidade de intervenção a ter, sobretudo, em edifícios antigos. Assim, pretende-se fazer uma tipificação das características construtivas correntes dos edifícios antigos de maneira a perceber e analisar as melhores soluções a serem implementadas. As soluções de reabilitação aqui abordadas serão soluções que dizem respeito à envolvente dos edifícios, com o intuito de analisar a solução que leva a um maior conforto, menor gasto económico e também, menor dispêndio energético.

### 1.2. ÂMBITOS E OBJETIVOS

O presente trabalho pretende fazer um enquadramento do estado atual do parque edificando, demonstrando dados estatísticos dos edifícios antigos no território nacional e, também, do seu estado de conservação atual. Desta forma, pretende-se relacionar a maior ou menor necessidade de

reabilitação destes e a sua evolução ao longo dos últimos tempos. Antes de qualquer intervenção num edifício antigo é imprescindível a compreensão dos elementos construtivos já integrantes no próprio.

Após este estudo, ir-se-á demonstrar uma pequena amostra, disponibilizada pela empresa RIELZA, de alguns edifícios antigos que sofreram reabilitação e com este auxílio tipificar-se os elementos construtivos predominantes.

A partir da tipificação das paredes, das coberturas e dos vãos envidraçados proceder-se-á a uma análise e estudo de metodologias de intervenção para uma melhoria da eficiência energética aplicadas a esses elementos construtivos da envolvente. Essa análise será feita, numa abordagem técnico-energética, de forma a avaliar o impacto que cada uma das soluções propostas apresenta, em termos de custos de investimento, período de retorno desse investimento e também do seu nível de qualidade de acordo com a zona climática em que se insere o edifício em estudo. Antes de qualquer análise é imprescindível uma reflexão acerca dos regulamentos e normas existentes nas áreas em que se pretende intervir, neste caso na área da térmica.

Em resumo, os objetivos desta dissertação são:

- Refletir acerca da problemática dos edifícios antigos e da sua necessidade crescente de reabilitação;
- Tipificar e caracterizar as soluções construtivas do passado;
- Fazer uma análise técnico-económica de soluções propostas de intervenção em elementos na envolvente dos edifícios antigos, nas várias zonas climáticas do país.

### **1.3. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação está estruturada em 6 capítulos, nos quais se apresenta o desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 1 integra um enquadramento geral ao tema retratado na dissertação, bem como o âmbito e os objetivos que serão pretendidos atingir com este trabalho.

O capítulo 2 faz uma breve introdução aos edifícios antigos. É caracterizado o parque edificado em Portugal, descrevendo os edifícios existentes, a sua época de construção, o seu estado de conservação e o seu tipo de ocupação. No seguimento, aborda-se a necessidade que tem vindo a ser atribuída à reabilitação dentro da área da construção civil, e o quanto esta tem evoluído no tempo.

O capítulo 3 é constituído pela apresentação de uma amostra de cinco edifícios antigos, disponibilizados pela empresa RIELZA, que foram reabilitados, dando a conhecer o antes e depois das suas alterações a nível da envolvente. No final da apresentação da amostra é feita uma análise crítica apresentando um quadro resumo dos elementos construtivos inerentes aos edifícios originais e abordando algumas dificuldades ao longo da sua execução.

O capítulo 4 apresenta uma caracterização e tipificação dos elementos construtivos em edifícios antigos, sendo os elementos em questão paredes, coberturas e vãos envidraçados. No final do capítulo faz-se uma ligação ao capítulo 3 em que, se apresenta um quadro síntese, esclarecendo quais os tipos de elementos construtivos característicos nos edifícios antigos, tendo em consideração a amostra apresentada.

O capítulo 5 apresenta um estudo das melhorias da eficiência energética da envolvente de edifícios antigos em que, inicialmente são apresentadas algumas considerações a ter em conta na área da térmica, como regulamentos existentes e sua aplicação em reabilitação de edifícios antigos. É



elaborada uma análise técnico-económica, através do programa OPTITERM – LFC, de soluções propostas para a reabilitação dos elementos construtivos da envolvente, que foram mencionados no capítulo 4, como as paredes exteriores, a cobertura e os vãos envidraçados. Antes da análise foi imprescindível a compreensão de alguns parâmetros interferentes na mesma.

Por último, surge o capítulo 6 em que são apresentadas todas as conclusões consideradas relevantes ao longo da elaboração deste trabalho, bem como desenvolvimentos futuros para o tema aqui retratado.



## 2

## EDIFÍCIOS ANTIGOS

## 2.1. INTRODUÇÃO

A análise dos edifícios antigos adquire progressivamente um maior interesse, pois tem vindo a ser atribuída uma maior importância à reabilitação do património construído. Atualmente aceita-se, de uma forma mais clara, que o património não são só os edifícios monumentais – palácios, igrejas, castelos, conventos, mas também os edifícios industriais, comerciais e habitacionais. Ora, este trabalho vai-se focar no património edificado corrente em que os materiais predominantes são a pedra, a madeira, a cal e o vidro. Em conjunto ou isoladamente, todo o património monumental, edificado classificado e edificado corrente representam as formas como a sociedade tem evoluído ao longo do tempo. (Appleton, 2003 e Freitas *et al*, 2012)

Contudo existe uma definição de edifício antigo, defendida em diversos países, que refere que um edifício antigo é aquele que foi construído antes do aparecimento do betão armado como material estrutural dominante. O motivo por esta definição ser atribuída ao advento do betão armado insere-se no facto de corresponder a uma evolução quase explosiva no contexto da construção de edifícios, perdendo-se um referencial de tradições conservadoras que se aplicavam quase inalteráveis há séculos. Por vezes, existe dificuldade em reconhecer a época de construção de um edifício antigo, sendo indispensável recorrer a inúmeros e distintos sinais, dando como exemplo, os séculos XVIII e XIX contrariamente ao que acontece com os edifícios de betão armado que são facilmente identificáveis num ambiente urbano. (Appleton, 2003)

Sendo o betão armado um material bastante recente, pois não tem mais de um século de vida, em Portugal apenas teve uma expansibilidade significativa no final da década de 40 no século XX. (Appleton, 2003)

## 2.2. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO

Perante a definição já abordada e segundo dados mais objetivos analisa-se a realidade portuguesa no que diz respeito ao parque edificado.

Analizando a situação com valores numéricos respeitantes a dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) dos Censos 2011, através da

Tabela 2.1, pode-se afirmar que foi no período de 1946-1970 que a construção de edifícios despoletou um maior crescimento, pois comparativamente a anos anteriores, o número de edifícios construídos aumentou mais do dobro. [1]

Tabela 2.1 - Número de edifícios por localização geográfica e por época de construção. (adaptado de: INE,2012)

	Total	Antes de 1919	1919 - 1945	1946 - 1970	1971 - 1990	1991 - 2011
<b>Portugal</b>	3544389	206343	305696	796171	1167703	1068476
<b>Continente</b>	3353610	195169	288132	756245	1112000	1002064
<b>Grande Porto</b>	273491	19847	27433	71021	87684	67506
<b>Grande Lisboa</b>	277387	17267	20885	76314	93840	69081
<b>Região Autónoma dos Açores</b>	98818	7098	10145	20600	27815	33160
<b>Região Autónoma da Madeira</b>	91961	4076	7419	19326	27888	33252

Classificando o património edificado consoante o ano de construção (Figura 2.1), considera-se que os edifícios antigos correspondem aos edifícios que foram construídos até ao ano de 1960 e correspondem a uma parcela de 25% em relação ao total de edifícios existentes. É necessário salientar-se que no ano de 1960, como já foi referido, já existiam algumas construções em betão, mas em número muito reduzido, por isso não foram aqui contabilizados. Os outros dois grupos são os edifícios das décadas de 60, 70 e 80 e os edifícios recentes que correspondem, respetivamente, a 45% e 30 % do património edificado.

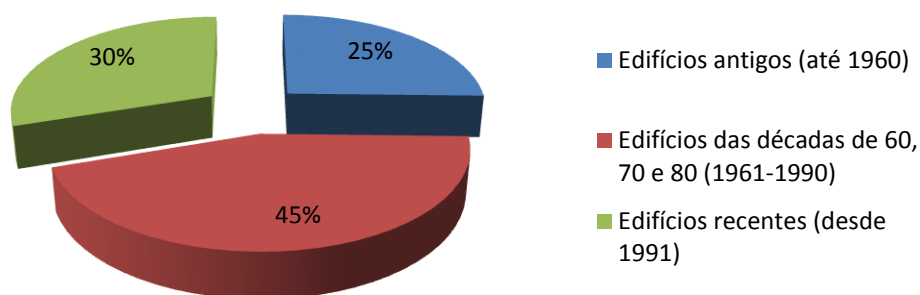


Figura 2.1-Percentagem dos diferentes tipos de edifícios em Portugal. (adaptado de: [2])

Em Portugal, o parque edificado encontra-se bastante envelhecido, com maior relevo nas grandes cidades, pois numa grande maioria dos casos deve-se à falta de implementação de medidas de conservação e/ou de manutenção. Com a carência de tais medidas, o edificado fica assim mais vulnerável ao abandono por parte do proprietário, que tem como consequência inevitável, a degradação de muitos materiais que constituem as soluções construtivas, provocando graves consequências do ponto de vista da durabilidade. (Fernandes, 2012)

Tal facto é possível comprovar-se pelos resultados obtidos nos Censos 2011 do INE, com maior destaque nas grandes cidades de Lisboa e Porto. Na Figura 2.2 está representado o índice de envelhecimento dos edifícios, definido pelo quociente entre o número de edifícios construídos até 1960 e os construídos após 2001.

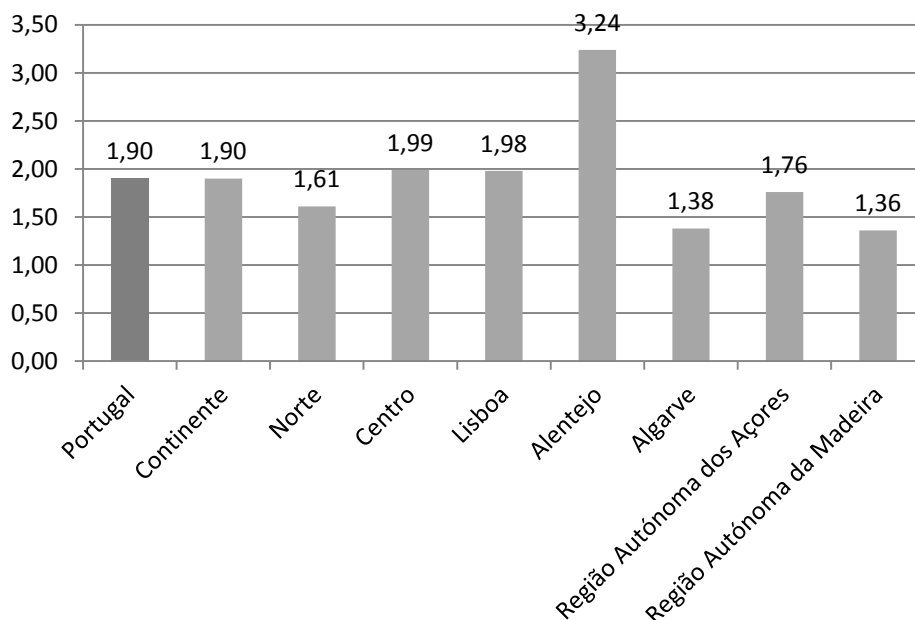


Figura 2.2 - Índice de envelhecimento dos edifícios por NUTS II, em 2011. (adaptado de [2])

De facto, a construção nova começa a decrescer no sentido em que os índices de envelhecimento adquirem na generalidade valores baixos. Assim o número de edifícios construídos até 1960 é menos do dobro dos que foram construídos após 2001, excetuando o caso do Alentejo, com um índice de envelhecimento de 3,2, que pode ser explicado pelo movimento da população para os grandes centros urbanos resultando num abandono das habitações. Sendo que o Algarve e a Região Autónoma da Madeira apresentam os índices de envelhecimento mais baixos, cerca de 1,4. (INE, 2011a; INE, 2011b)

Lisboa e Porto, segundo o INE, são os municípios do país com o parque habitacional mais envelhecido, com índices de 11,2 e 11,1, respetivamente, representando um número de edifícios construídos antes da década de 60 cerca de 11 vezes superior aos edifícios construídos após 2001. (INE, 2011a)

O índice de envelhecimento não significa, necessariamente, o estado de conservação dos edifícios. Pois apesar do ano de construção, se os edifícios sofressem manutenção apropriada poderiam aumentar a sua durabilidade e assim não estarem degradados. (Fernandes, 2012)

Perante dados do INE, é possível caracterizar o parque edificado em relação ao seu estado de conservação. De acordo com a Figura 2.3, segundo os critérios dos Censos de 2011, é possível revelar que 1,7% dos edifícios se encontram muito degradados, percentagem correspondente a 965 782 edifícios, e 27,2% necessitavam de reparações, correspondente a 591 557 edifícios. Sendo que, 71,1% correspondentes a 2 519 452 edifícios encontram-se em bom estado e não necessitam de reparações. (INE, 2011b)

Analisando os últimos dez anos, verificou-se uma melhoria muito significativa no estado dos edifícios, pois em 2001, a percentagem de edifícios muito degradados era de 3% e de edifícios que tinham necessidades de reparação era de 38%, valores estes bastante maiores comparativamente aos dados dos censos de 2011. (INE, 2011b)

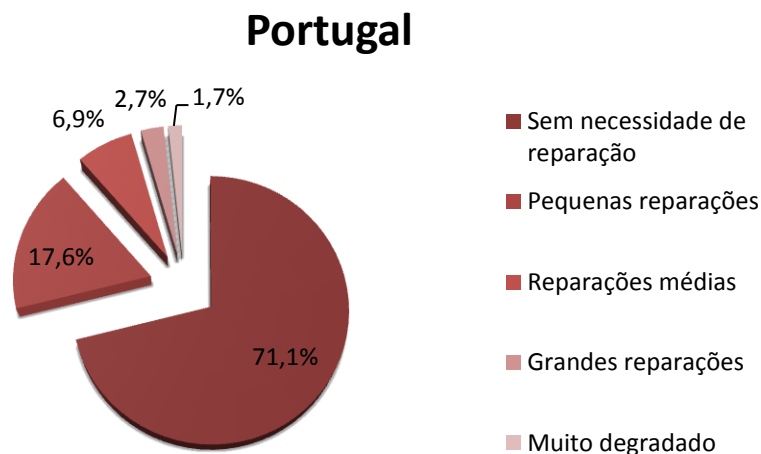


Figura 2.3 - Edifícios por estado de conservação, em 2011. (adaptado de [3])

Tendo em conta a época de construção dos edifícios, observa-se, através da Figura 2.4, que cerca de 8% do total dos edifícios clássicos<sup>1</sup> construídos até 1945 se encontram muito degradados bem como, para edifícios construídos antes de 1919 que corresponde a cerca de 11%. Verifica-se para mais de metade dos edifícios clássicos, cuja época de construção é após o ano de 1945, a não necessidade de reparações, atingindo-se uma maior percentagem (96%) para edifícios datados de entre 2006 e 2011. (INE, 2012a)

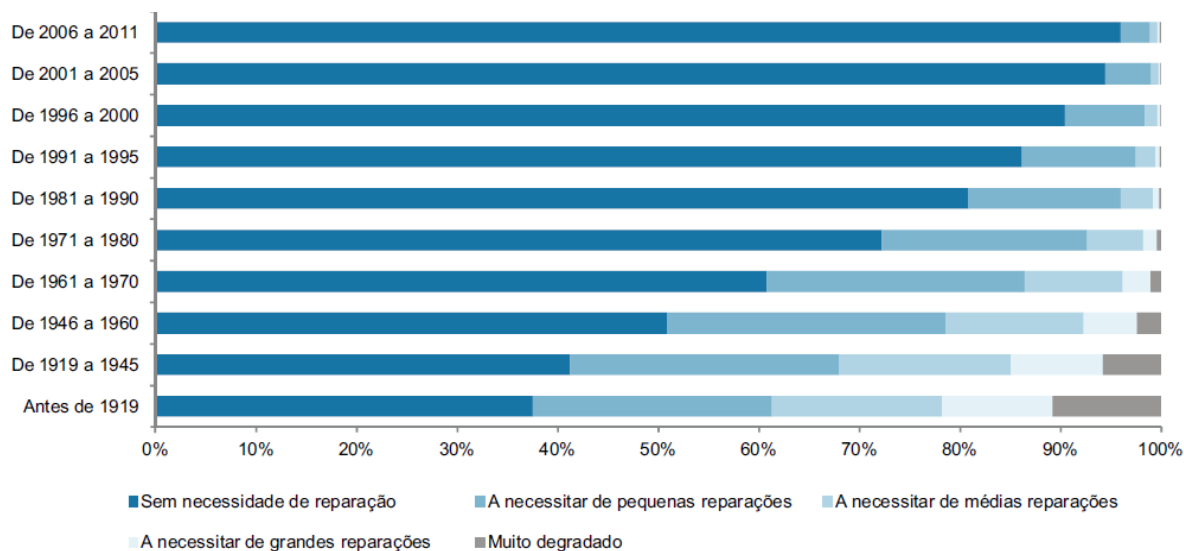


Figura 2.4 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação. (Fonte: INE, 2012a)

<sup>1</sup> Edifício cuja estrutura e materiais empregues tem um carácter não precário e duração esperada de 10 anos pelo menos. (INE, 2012a)

Através de uma análise NUTS II, na Figura 2.5, observa-se que a Região Autónoma dos Açores apresentava a maior proporção de edifícios clássicos sem necessidade de reparações, com uma percentagem de 79% (mais 13% face a 2001), seguida pela região do Algarve, com 76% dos edifícios clássicos (mais 11% face a 2001). Entre 20 e 30% dos edifícios clássicos em todas as regiões requeriam reparações, enquanto, que menos de 2% dos edifícios em cada região correspondiam a edifícios muito degradados. (INE, 2012a)

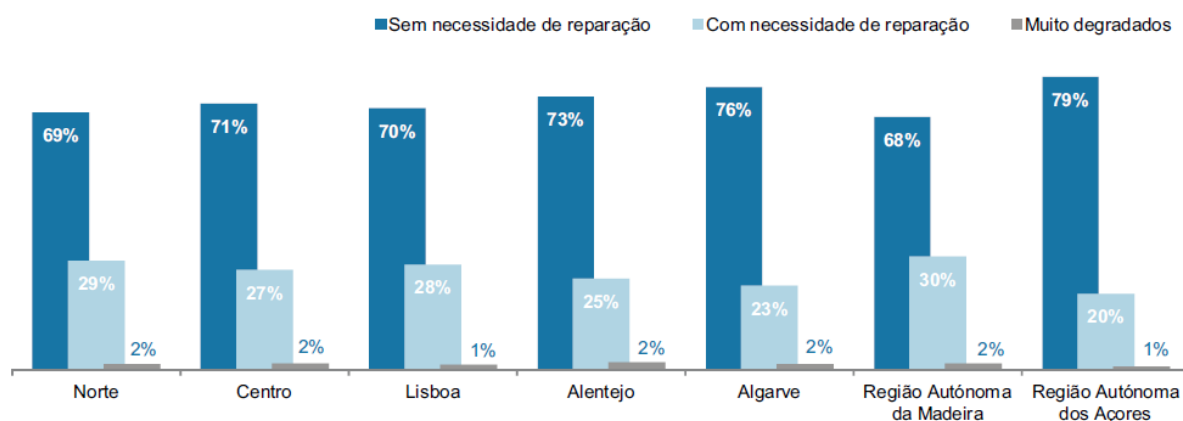
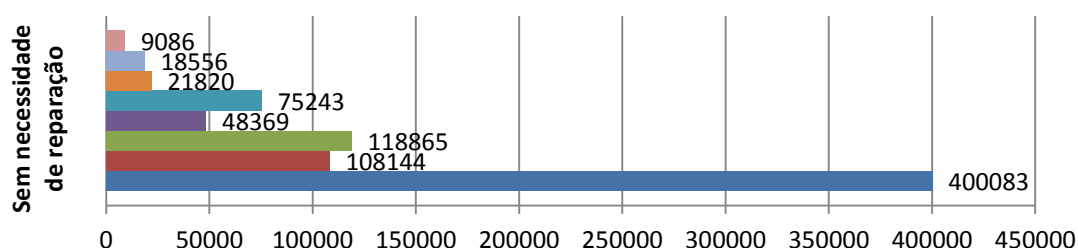


Figura 2.5 - Proporção de edifícios clássicos por estado de conservação e NUTS II. (fonte: INE, 2012a)

De forma mais detalhada é possível analisar que, em termos numéricos, a realidade portuguesa, relativamente ao estado de conservação dos edifícios, continua a ser bastante preocupante, apesar das pequenas melhorias já mencionadas. Na Figura 2.6, observa-se, por zona geográfica (NUTS II), o número de edifícios antigos (construídos até à década de 60) que não necessitam de reparações, aqueles que necessitam de reparações pequenas, médias e grandes e aqueles que se encontram muito degradados. No total, em Portugal existem 449 744 edifícios antigos com necessidades de reparações pequenas, médias e grandes e 49 552 muito degradados, sendo que nas regiões do Norte e Centro o número de edifícios nessas condições é maior.



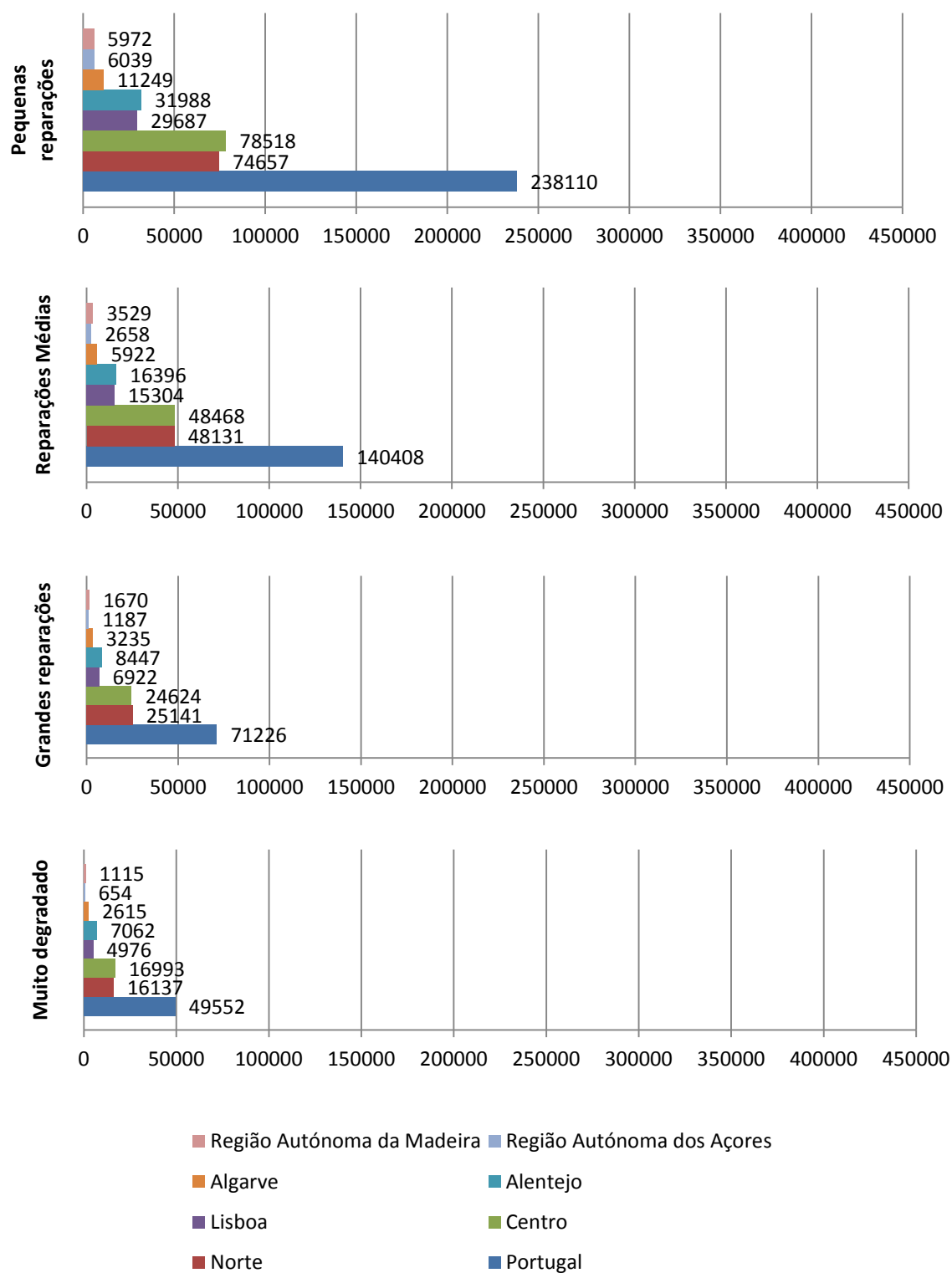


Figura 2.6 - Número de edifícios antigos, por localização geográfica NUTS II, por estado de conservação.  
(adaptado de: [4])

Para além, do estado de conservação dos edifícios é importante haver uma reflexão sobre o forte crescimento do parque habitacional na última década, pois como é comprovado na Figura 2.7, os



edifícios exclusivamente residenciais correspondem à maioria dos edifícios de habitação de todas as regiões do país. Nos censos 2011, observou-se um aumento de 12,2% no número de edifícios destinado à habitação e de 16,3% no número de alojamentos. (INE, 2011b)

ZONA GEOGRÁFICA	1991			2001			2011		
	Exclusivamente residencial	Principalmente residencial	Principalmente não residencial	Exclusivamente residencial	Principalmente residencial	Principalmente não residencial	Exclusivamente residencial	Principalmente residencial	Principalmente não residencial
Portugal	2 621 454	205 753	34 512	2 887 305	239 708	33 030	3 306 299	212 389	24 907
Continente	2 479 158	200 220	33 488	2 732 734	232 915	32 010	3 122 662	206 589	23 578
Norte	871 850	93 596	12 709	989 860	99 918	10 551	1 117 269	84 729	7 832
Centro	849 590	51 604	10 914	918 457	63 941	9 923	1 047 318	57 489	6 875
Lisboa	320 212	33 317	4 277	349 183	40 604	4 733	407 327	37 832	3 561
Alentejo	307 633	13 631	3 839	328 403	17 154	4 389	364 841	15 187	3 709
Algarve	129 873	8 072	1 749	146 831	11 298	2 414	185 907	11 352	1 601
Região Autónoma dos Açores	77 126	3 258	620	83 405	3 576	604	95 156	2 901	750
Região Autónoma da Madeira	65 170	2 275	404	71 166	3 217	416	88 481	2 899	579

Figura 2.7 - Edifícios segundo o tipo de utilização por NUTS II em 1991, 2001 e 2011. (fonte: INE, 2011a)

O regime de ocupação da habitação (Figura 2.8 e Figura 2.9) permite retirar algumas considerações acerca da saturação do mercado da construção nova e defender-se a reabilitação como criação de cidades mais sustentáveis. (Fernandes, 2012)

Maioritariamente os alojamentos são de residência habitual, 68,2%, sendo que 19,3% (1 133 166) e 12,5% (734 846) correspondem, respetivamente, a alojamentos de residência secundária e vagos. (INE, 2011a)

ZONA GEOGRÁFICA	1991			2001			2011			Variação 1991-2011			Variação 2001-2011		
	Residência habitual	Residência secundária	Vago	Residência habitual	Residência secundária	Vago	Residência habitual	Residência secundária	Vago	Residência habitual	Residência secundária	Vago	Residência habitual	Residência secundária	Vago
	Nº									%					
Portugal	3 083 154	659 172	440 291	3 578 548	924 419	543 777	3 997 378	1 133 166	734 846	16,07	40,24	23,50	11,70	22,58	35,14
Continente	2 956 664	634 904	427 102	3 436 799	897 280	524 709	3 824 696	1 098 336	703 772	16,24	41,33	22,85	11,29	22,41	34,13
Norte	984 154	171 210	128 756	1 188 751	255 800	167 292	1 320 817	324 479	202 411	20,79	49,41	29,93	11,11	26,85	20,99
Centro	741 209	213 532	118 314	832 036	290 748	129 970	895 208	352 991	196 908	12,25	36,16	9,85	7,59	21,41	51,50
Lisboa	841 954	131 964	101 374	982 722	161 802	149 327	1 129 676	171 080	184 900	16,72	22,61	47,30	14,95	5,73	23,82
Alentejo	273 240	53 062	47 811	287 663	82 735	52 262	299 704	100 659	69 810	5,28	55,92	9,31	4,19	21,66	33,58
Algarve	116 107	65 136	30 847	145 627	106 195	25 858	179 291	149 127	49 743	25,42	63,04	-16,17	23,12	40,43	92,37
Região Autónoma dos Açores	62 630	13 692	7 924	69 572	14 311	9 164	80 517	15 410	13 502	11,08	4,52	15,65	15,73	7,68	47,34
Região Autónoma da Madeira	63 860	10 576	5 265	72 177	12 828	9 904	92 165	19 420	17 572	13,02	21,29	88,11	27,69	51,39	77,42

Figura 2.8 - Alojamentos familiares segundo a forma de ocupação e taxa de variação por NUTS II em 1991, 2001 e 2011. (fonte: INE, 2011a)

Relativamente à última década, os resultados expressam um aumento no número de alojamentos vagos de 35,1%, nas residências secundárias de 22,6% e também de residencial habitual de 11,7%. Houve um crescimento do número de alojamentos destinados à residência habitual que acompanha a

dinâmica de aumento das famílias clássicas. Todavia, assiste-se a uma diminuição da relevância atribuída aos alojamentos de residência habitual que se contrapõe ao aumento dos alojamentos de residência secundária e vagos. (INE, 2011a)

A nível regional, onde predominam as residências secundárias, perto de 39,4% do total de alojamentos é na região do Algarve, seguido da região do Centro com 24,4%. A região de Lisboa é a que representa uma percentagem mais baixa, com 11,5%. As sub-regiões do Grande Porto e Grande Lisboa apenas representam 10% de alojamentos secundários no total dos alojamentos. (INE, 2011a; INE, 2011b)

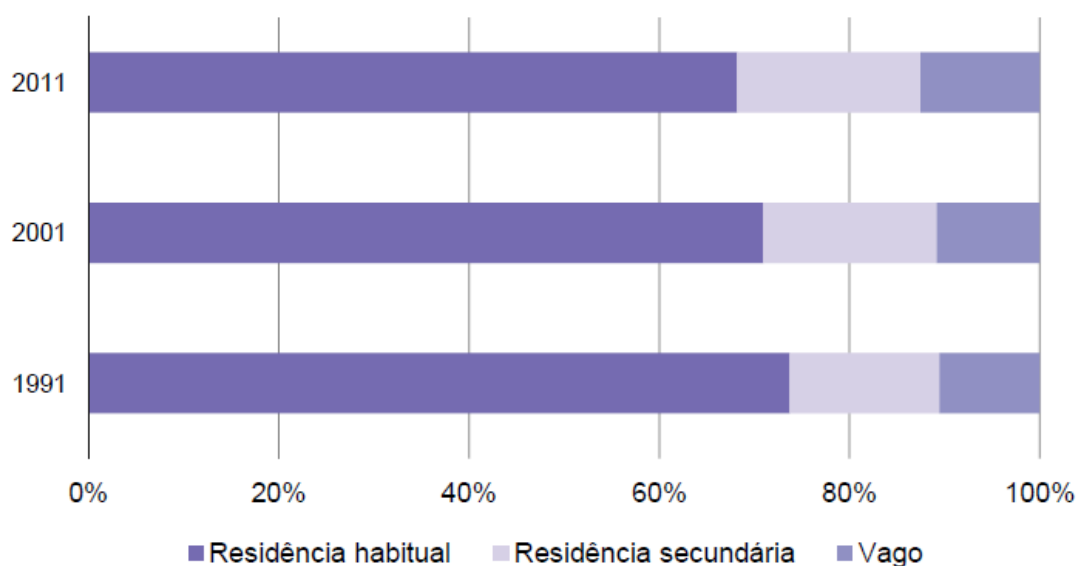


Figura 2.9 - Evolução dos alojamentos segundo a forma de ocupação em 1991, 2001 e 2011. (fonte: INE, 2011a)

Com 734 846 alojamentos vagos e 1 133 166 alojamentos de residência secundária em Portugal, segundo a CPCI – Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário, terão de se criar um maior incentivo ao mercado de arrendamento e da reabilitação, pois podem representar um importante impulso à atividade económica e ao emprego. [5]

### 2.3. REABILITAÇÃO EM PORTUGAL

A reabilitação de edifícios é uma aposta que tem vindo a crescer no sector da construção. Apesar das construções novas de edifícios predominarem no sector da construção, com uma percentagem de 75,1% do total de construções, revela-se que a reabilitação na edificação com as alterações, ampliações e reconstruções começa a ganhar importância relativamente a anos anteriores. Especial destaque incide sobre as regiões do Algarve e do Alentejo com valores superiores a 28% de obras concluídas de reabilitação, pois em termos nacionais registou-se um aumento a nível percentual bastante significativo relativamente a 2010. Esta realidade pode ser o resultado do reconhecimento de uma saturação do mercado de novas habitações, levando as empresas de construção a concentrarem-se mais no âmbito da reabilitação do edificado. (INE, 2012b)

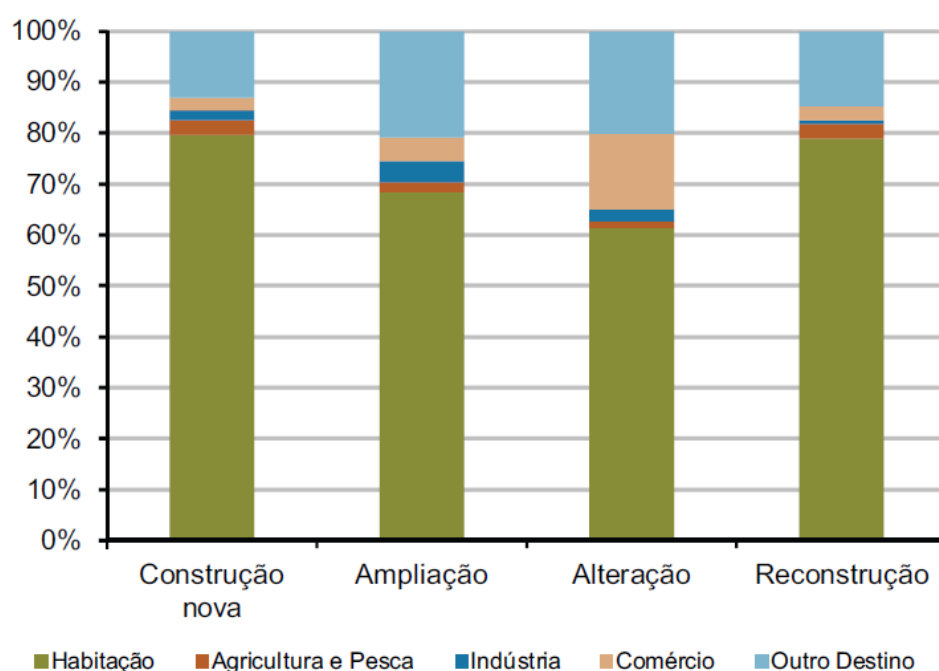


Figura 2.10 - Edifícios concluídos por tipo de obra segundo o destino - Portugal, 2011. (fonte: INE, 2012b)

Analisando os destinos segundo o tipo de obra, podemos notar pela Figura 2.10, que as obras de ampliação, alteração e reconstrução, que por simplificação são designadas por obras de reabilitação (no âmbito do Sistema de Indicadores das Operações Urbanísticas), têm um maior peso relativo nos outros destinos que não no da habitação. Os destinos com maior peso dentro da reabilitação foram em primeiro lugar, nas obras destinadas ao comércio com uma percentagem de 44,6% e com 37,8% nas obras destinadas à indústria. (INE, 2012b)

Em 2011, em Portugal, foram concluídos 27 790 edifícios, sendo que 6 930 dizem respeito a obras de alteração, ampliação e reconstrução, o que significa que cerca de 25% das obras são relativas a reabilitação do edificado. Em relação a 2010, observou-se um aumento de 3,1% do número de edifícios reabilitados, sendo que a maior parte destes correspondem a obras de ampliação (70,3%) e uma minoria a obras de reconstrução (12,5%). (INE, 2012b)

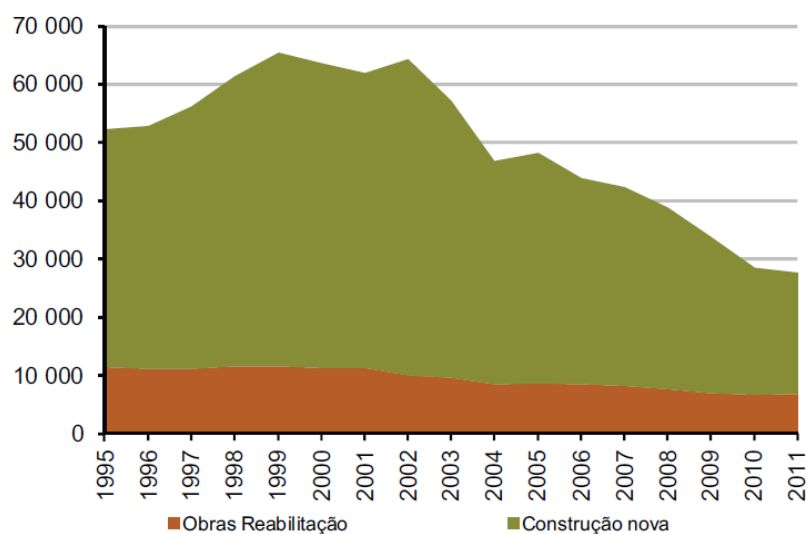


Figura 2.11 - Reabilitações de edifícios e construções novas, Portugal, 1995-2011. (fonte: INE, 2012b)

Contudo, é importante assinalar que o levantamento estatístico efetuado pelo INE recai especificamente na conclusão de obras de alteração, ampliação e reconstrução, o que reproduz apenas uma parcela do total de obras de reabilitação no sentido mais amplo, logo excluindo pequenas obras. (INE, 2012b)

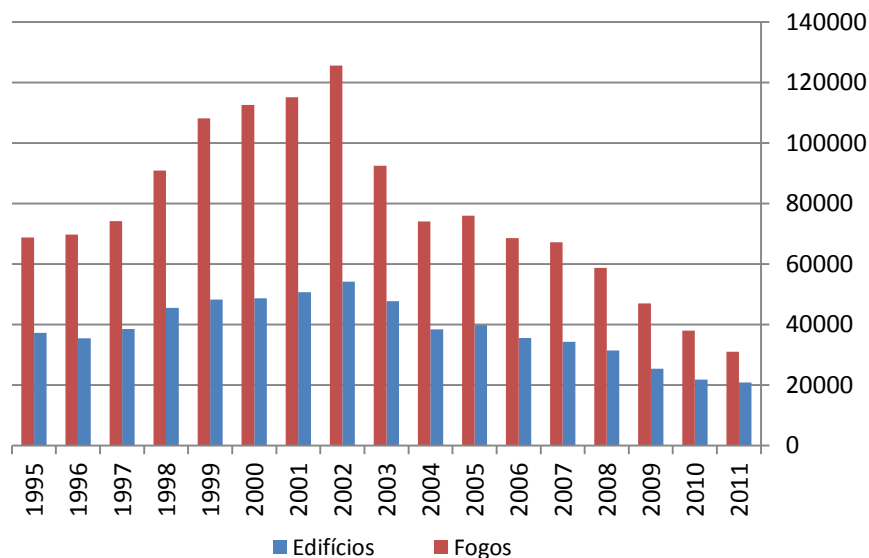


Figura 2.12 – Número de edifícios e fogos concluídos em construções novas de 1995 a 2011. (adaptado de: [6])

Em Portugal, como se pode comprovar na Figura 2.11 e Figura 2.12, a nível das obras concluídas em edifícios e fogos, no período de 1995 a 2011, assiste-se a duas fases de crescimento distintas. Até 2002, verificou-se um aumento de construções novas e, simultaneamente, uma relativa estabilidade das reabilitações do edificado. A partir de 2003, deu-se uma ligeira diminuição nas obras de reabilitação, aliada a um decréscimo acentuado das construções novas, que evidentemente se traduzem numa significativa redução no número de fogos concluídos e também, numa aparente tendência para a

construção unifamiliar (Figura 2.12). Assim, e principalmente resultado da quebra das construções novas, tem-se verificado um crescente protagonismo relativo das obras de reabilitações face ao total de obras concluídas. Ora em proporção, na última década, tem-se registado um crescimento médio anual de 5% das obras de reabilitação em comparação à construção nova. (INE, 2012b)

## 2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo a fazer uma pequena síntese das principais ideias deste capítulo seguem-se os seguintes tópicos:

- No período de 1946-1970 a construção de novos edifícios sofreu um grande crescimento pois, o número de edifícios construídos aumentou mais do dobro;
- Os edifícios antigos correspondem a uma parcela de 25% do total dos edifícios existentes;
- Dados dos censos 2011 demonstram que, 27,2% dos edifícios existentes necessitam de reparações e 1,7% encontra-se muito degradado;
- Em Portugal, existem 449 744 edifícios antigos com necessidades de reparações pequenas, médias e grandes e 49 552 edifícios muito degradados, sendo que é nas regiões do Norte e Centro que tal realidade é mais gravosa;
- O parque habitacional na última década tem sofrido um forte crescimento, pois os edifícios exclusivamente residenciais correspondem à maioria dos edifícios de habitação de todas as regiões do país;
- Averiguando que existem 734 846 alojamentos vagos e 1 133 166 alojamentos de residência secundária em Portugal, terão de se criar incentivos ao mercado de arrendamento e da reabilitação, pois podem representar um importante impulso à atividade económica e ao emprego;
- Em 2011, em Portugal, foram concluídos 27 790 edifícios, sendo que 6 930 dizem respeito a obras de alteração, ampliação e reconstrução, o que significa que cerca de 25% das obras são relativas a reabilitação do edificado. Em relação a 2010, observou-se um aumento de 3,1% do número de edifícios reabilitados;
- Na última década, tem-se registado um crescimento médio anual de 5% das obras de reabilitação em comparação à construção nova.

Perante os valores apresentados seria interessante fazer uma ponderação de quanto tempo demoraria a reabilitar todos os edifícios antigos que se encontram com necessidades de reparações, supondo que se reabilitavam 10 000 por ano? E reabilitando 15 000, 20 000 e 30 000 edifícios, qual seria o tempo necessário?

Sabendo que o número total de edifícios antigos que necessitam de ser reabilitados são 499 296, aproximadamente 500 000 edifícios, pode dizer-se que o tempo que demoraria para reabilitar todo o património edificado de Portugal corresponde ao indicado na tabela seguinte.

Tabela 2.2 - Previsões de tempo para a reabilitação de todo o património edificado antigo, em Portugal.

Número de edifícios reabilitados por ano	Tempo
10 000	50 anos
15 000	34 anos
20 000	25 anos
30 000	17 anos



# 3

## DESCRIÇÃO DA AMOSTRA DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

### 3.1. INTRODUÇÃO

Grande parte do património edificado é constituído por edifícios habitacionais, como foi anteriormente referenciado. Tendo isso em conta, e em parceria com obras de reabilitação de edifícios que foram e estão a ser desenvolvidas pela empresa RIELZA, reuniu-se uma amostra de cinco edifícios antigos habitacionais.

Neste capítulo irá caracterizar-se a construção antes e depois da reabilitação de cinco edifícios habitacionais da cidade do Porto, cuja sua construção data do século XIX. Três dos edifícios retratados são habitações unifamiliares e localizam-se, dois na Rua do Bonjardim e um na Rua Aires Ornelas. Os outros dois edifícios são habitações multifamiliares e localizam-se, um na Rua do Vilar e outro na Rua Antero de Quental.

### 3.2. EDIFÍCIO BONJARDIM 953

Este edifício de habitação está situado no Porto, na rua Bonjardim, intitulada como uma das ruas mais antigas e extensas do Porto. Para além disso, esta rua está situada numa zona bastante privilegiada do centro, pois cruza com a rua Gonçalo Cristóvão e com a praça D. João I que são pontos bastante atrativos da cidade.



Figura 3.1 - Fachada principal e de tardoz do edifício n.º 953 da rua Bonjardim antes da sua reabilitação. Fonte: RIELZA.

O edifício é característico dos edifícios urbanos antigos e está implantado num lote estreito e profundo, em banda com edifícios vizinhos. Trata-se de uma habitação unifamiliar, R/C + 3, de tipologia T4, sendo que o terceiro piso é a cobertura cujo desvão é aproveitado.

A fachada é típica da época em que foi construído, dando grande importância à luz natural, com o uso de grandes envidraçados, devido ao facto do uso da luz artificial ainda ser escasso.

O rés-do-chão é composto por um escritório, uma sala multiusos e uma parte para arrumos e lavandaria, tendo sido introduzida uma instalação sanitária adjacente na parte tardoz exterior. O piso 1 é composto por um *hall* que dá acesso à sala de estar e à sala de jantar, que esta por sua vez faz ligação com a cozinha; do lado tardoz existe uma instalação sanitária acedida por uma varanda interior. O piso 2 compreende dois quartos, o quarto 1 com um *closet* e o quarto 2 dotado de instalação sanitária com duche e com varanda interior. O piso 3 comporta mais dois quartos sendo também disponibilizado algum espaço para arrumos. Na parte tardoz possui um terraço.

### 3.2.1. PAREDES

As paredes de fachada principal e uma de meiação são constituídas por alvenaria de pedra ordinária em granito sendo revestidas com reboco no interior como no exterior (Figura 3.2), exceto a parede de fachada que é revestida no exterior por azulejo (Figura 3.1). Estas paredes após as suas intervenções mantiveram partes rebocadas e outras em pedra à vista, exceto uma parte de uma parede de meiação, não adjacente ao edifício vizinho, que sendo esta em tijolo, sofreu um acréscimo de isolamento pelo exterior e foi revestida com chapa ondulada, sendo que no interior foi rebocada em gesso à base de cal e regularizada com acabamento estanhado para pintura.





Figura 3.2 - Parede de meiação parcialmente rebocada no interior. Fonte: RIELZA.

A parte tardo do edifício é composta por divisões tipo marquises, vedadas por paredes, de menor espessura, de alvenaria de pedra, revestida maioritariamente por chapa ondulada. Após a sua intervenção, a parede tardo do R/c permaneceu em alvenaria de pedra revestida com gesso cartonado hidrófugo e acabamento exterior estanhado para posterior pintura sendo que, nos restantes pisos a parede foi implementada com uma estrutura metálica, com barreira pára-vapor, forrada pelo interior com painéis OBS hidrófugo, isolamento térmico pelo exterior e com acabamento exterior em chapa ondulada.



Figura 3.3 - Fachada tardo durante a intervenção e após intervenção. Fonte: RIELZA.

As paredes divisórias eram em tabique, sendo que depois da reabilitação mantiveram-se em tabique que apenas sofreu reparações no reboco com gesso à base de cal.

### 3.2.2. COBERTURA

A cobertura é inclinada com telhado de quatro águas.

A cobertura era estruturada em madeira com solução de asna simples, em que há uma armação simples de duas barras, dispostas em forma de tesoura e apoiadas numa viga transversal que, por sua vez, se apoia nas paredes de meiação. Desta forma, havia um aproveitamento do vão da cobertura, pois encontra-se liberto de elementos estruturais. A sua constituição era composta por telha, ripado, vara, teto com acabamento em estafe e desvão útil, respetivamente da zona fria para a zona quente. (Freitas *et al*, 2012)

Posteriormente passou a ser constituída por telha, ripado, tela permeável ao vapor de água e estanque à água líquida, isolamento térmico, barreira para-vapor, OSB<sup>1</sup> hidrófugo, vara, acabamento mantido em estafe com desvão útil.

Possuía uma claraboia de maiores dimensões retangular saliente em relação ao plano das águas da cobertura com revestimento exterior em ferro e vidro e duas outras mais pequenas. Após a reabilitação, essa claraboia foi mantida e recuperada, passando a aumentar-se o tamanho das outras duas de menores dimensões, que são retangulares e rasantes, compostas por janelas de teto em madeira e vidro.

### 3.2.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Este edifício possui janelas de cobertura, janelas verticais exteriores e portas para o exterior (janelas pedonais exteriores).

As janelas de cobertura eram feitas em madeira, sendo a de maiores dimensões em ferro. Ambas as janelas eram fixas ou seja, não possuíam qualquer tipo de movimento, funcionando como apenas entrada de luz natural.

As janelas da fachada principal eram em madeira de duas folhas de batente com vidro simples, sendo conservadas após a intervenção. Já as janelas da fachada tardoz anteriormente eram em madeira passando, posteriormente, a serem substituídas por outras janelas de batente em PVC com vidro duplo.



Figura 3.4 - Janelas da fachada principal, em madeira de batente. Fonte: RIELZA.

<sup>1</sup>*Oriented Strand Board*, ou aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas. [7]

As portas eram de batente em madeira, tendo a porta da fachada principal um vidro superior, ambas as portas foram conservadas.



Figura 3.5 - Porta em madeira de batente da fachada principal. Fonte: RIELZA.

### **3.3. EDIFÍCIO BONJARDIM 1025**

O edifício Bonjardim 1025 é um edifício habitacional, também situado na rua Bonjardim, que foi referenciada no edifício anterior.



Figura 3.6 - Fachada principal do edifício n.º 1025 da rua Bonjardim. Fonte: RIELZA.

O edifício está inserido entre dois edifícios, é estreito e com pé-direito elevado, tal como é característico nos edifícios daquela época.

É uma habitação unifamiliar, R/C+2, de tipologia T3. O piso 2 é composto por uma típica trapeira, muito característica nas velhas casas do Porto. (Oliveira, 1992)

No rés-do-chão do edifício encontra-se a cozinha/sala de jantar, a sala de estar e ainda uma instalação sanitária. No piso 1 encontram-se dois quartos, sendo que, um possui um *closet* e o outro possui um pequeno espaço para roupeiro, e também uma instalação sanitária com banheira. No piso 2, encontra-se voltado para tardoiz o terceiro quarto e uma outra instalação sanitária com duche, e voltado para a fachada principal, um espaço destinado a sótão.

### 3.3.1. PAREDES

As paredes de fachada principal, de tardoiz e uma de meiação eram em alvenaria de pedra ordinária de granito e após a reabilitação permaneceram com as mesmas características. A parede de fachada principal era revestida a azulejos na parte exterior (Figura 3.6), sendo a parte interior em alvenaria à vista. A parede de meiação e de tardoiz, também era no interior em alvenaria à vista (Figura 3.7), sendo a de tardoiz, exteriormente rebocada com pintura.



Figura 3.7 - Parede de meiação em alvenaria à vista (vista interior). Fonte: RIELZA.

A outra parede de meiação era em tabique resistente com reboco em gesso à base de cal, com posterior pintura (Figura 3.8), sendo que se conservou as mesmas características após a sua intervenção. Também, as paredes da trapeira existente na cobertura eram em tabique resistente (Figura 3.10).



Figura 3.8 - Reforço da parede de meiação em tabique. Fonte: RIELZA.

Quanto às paredes divisórias, estas eram em tabique simples, sendo algumas conservadas em tabique e outras implementadas em gesso cartonado.

### 3.3.2. COBERTURA

A cobertura é inclinada, com telhados de quatro águas numa parte e telhado de uma água na outra.

A estrutura do telhado é de madeira em asna simples com nível, ora constituída por duas barras ou pernas, que se dispõem em forma de tesoura, apoiadas numa viga transversal que, por sua vez, se apoia nas paredes de meiação. Esta armação é travada transversalmente por uma barra de menor dimensão, denominada de nível, que é colocada a dois terços da altura, e apoiada nas duas pernas. (Freitas *et al*, 2012)

A sua constituição era, do exterior para interior, composta por telha, ripado, vara, teto com acabamento em estafe e desvão útil.



Figura 3.9 - Estrutura da cobertura do edifício n.º 1025 da rua Bonjardim. Fonte: RIELZA.

Posteriormente, a cobertura passou a ser constituída telha, ripado, tela permeável ao vapor de água e estanque à água líquida, varas, isolamento térmico, tetos de gesso cartonado e desvão útil.

A parte transparente da cobertura era composta por três claraboias, sendo duas rasantes retangulares e uma circular, que após a reabilitação foram mantidas.

No telhado o edifício possui uma trapeira apoiada na cobertura, com paredes em tabique resistente, (Figura 3.10).





Figura 3.10 - Trapeira do edifício n.º 1025 na rua Bonjardim. Fonte: RIELZA.

### 3.3.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

A nível dos vãos envidraçados, este edifício era composto por janelas e portas, todas elas em madeira, de duas folhas e com vidro simples.

Algumas janelas, tanto exteriores como interiores eram de batente, outras de guilhotina, sendo posteriormente, na maioria, aproveitadas e adaptadas de forma a melhorar o desempenho do edifício. (Figura 3.11 e Figura 3.12)



Figura 3.11 - Janelas antes da intervenção no edifício. Fonte: RIELZA.



Figura 3.12 - Janelas após a intervenção no edifício. Fonte: RIELZA.

Quanto às portas, estas foram recuperadas obtendo, o seu devido tratamento, podendo observar-se um pequeno exemplo através da Figura 3.13.



Figura 3.13 - Porta exterior antes da intervenção (à esquerda) e uma porta interior depois da intervenção (à direita). Fonte: RIELZA.

### 3.4. EDIFÍCIO RUA AIRES DE ORNELAS

O edifício situa-se na rua Aires de Ornelas, situada no Porto. Esta rua é uma das perpendiculares da tão movimentada rua Fernão Magalhães e vai de encontro ao jardim da praça Rainha Dona Amélia.

Este edifício é uma habitação unifamiliar contida entre dois edifícios. É uma habitação composta por cave, rés-do-chão e piso 1, de tipologia T3 sendo que, anteriormente era de tipologia T4.

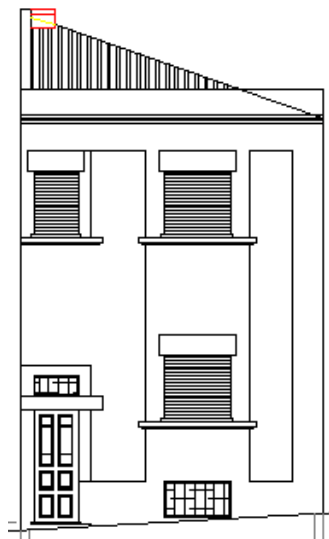


Figura 3.14 - Alçado principal do edifício na Aires de Ornelas. Fonte: RIELZA.

O piso 1 é composto por três quartos, uma instalação sanitária destinada a dois dos quartos, sendo que um dos quartos tem wc privado e uma zona de vestir. O rés-do-chão é destinado a uma sala de jantar, uma sala de estar, uma instalação sanitária de serviço e à cozinha, sendo que esta possui uma despensa para arrumos. A área da cave é destinada a um escritório, uma zona destinada à garrafeira e outra zona para lavandaria.

### 3.4.1. PAREDES

As paredes de fachada e de tardoiz são constituídas por alvenaria de pedra granítica. Após a reabilitação do edifício, estas passaram de ser rebocadas em ambos os lados para, no interior serem forradas em estrutura de gesso cartonado incluindo, isolamento preenchendo os espaços. Pelo exterior, a fachada principal permaneceu rebocada com acabamento estanhado e pintura e parte da fachada tardoiz foi revestida com chapa ondulada galvanizada (Figura 3.15).



Figura 3.15 - Fachada tardoiz após a reabilitação. Fonte: RIELZA.

Relativamente às paredes interiores, anteriormente eram em tabique simples, mantendo-se ainda algumas com essa constituição. Depois da reabilitação do edifício, este passou a integrar outras paredes divisórias em gesso cartonado com isolamento em lã de rocha, sendo que as paredes da cave foram executadas em tijolo furado 30x20x11 cm.



Figura 3.16 - Parede divisória do edifício em tabique simples (à esquerda). Construção de parede divisória em gesso cartonado (à direita). Fonte: RIELZA.



### 3.4.2. COBERTURA

A cobertura é inclinada com telhado de três águas.

A estrutura é em madeira com solução de asna com pendural e escoras, executadas com peças esquadrias, como evidenciado na Figura 3.17. A sua constituição era telha, ripado, vara, desvão ventilado e teto em madeira.



Figura 3.17 - Interior da cobertura, antes da reabilitação, do edifício na rua Aires de Ornelas. Fonte: RIELZA.

Após a reabilitação passou a ser constituída por telha, ripado, forro em pinho tratado, isolamento térmico, vara, desvão ventilado e teto em gesso cartonado.

Anteriormente não possuía qualquer tipo de entrada de luz natural pela cobertura, passando a integrar após a sua reabilitação três claraboias retangulares rasantes.

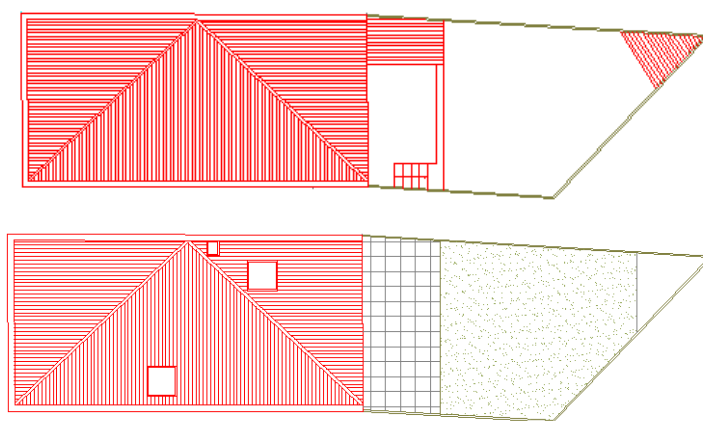


Figura 3.18 - Planta da cobertura antes e após a reabilitação do edifício da rua Aires de Ornelas. Fonte: RIELZA.

### 3.4.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Este edifício possuía todos os seus vãos envidraçados, interiores e exteriores, em madeira com vidro simples. Após a sua intervenção, os vãos envidraçados exteriores passaram a ser de alumínio e de PVC, predominando duas folhas na sua constituição (Figura 3.19).

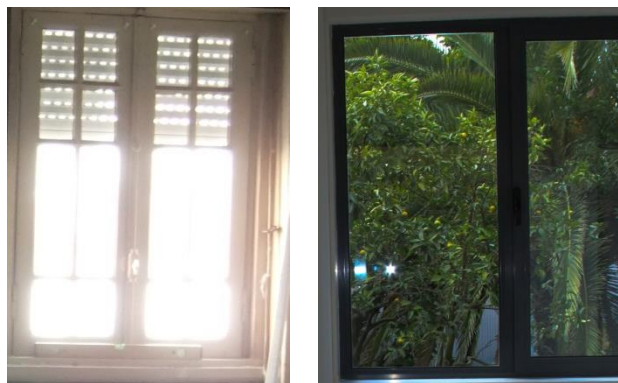


Figura 3.19 - Janela de madeira antiga (à esquerda) e janela em alumínio (à direita). Fonte: RIELZA.

No interior, as portas mantiveram-se em madeira de batente, de duas folhas.



Figura 3.20 - Porta interior do edifício. Fonte: RIELZA.

## 3.5. EDIFÍCIO RUA DE VILAR

A rua de Vilar situada em plena cidade do Porto é uma das ruas que circunda os tão conhecidos jardins do Palácio de Cristal, com vista sobre o rio Douro. A rua em questão cruza com a movimentada rua de D. Manuel II.

O edifício retratado trata-se de uma habitação multifamiliar, de rés-do-chão, três pisos e mais um piso recuado na cobertura. É composto por oito apartamentos, cuja tipologia varia entre T0, T1 e T1+1, ou seja, este último possui mais um quarto sem entrada de luz natural. O edifício em questão situa-se em banda, entre dois edifícios vizinhos, e possui uma grande altura e largura reduzida.



Figura 3.21 - Alçado da fachada principal (à esquerda) e da fachada tardoz (à direita) do edifício da rua de Vilar.

Fonte: RIELZA.

Os apartamentos de tipologia T0 são compostos por uma instalação sanitária e uma outra divisão que funciona como sala/quarto e, estão voltados para a fachada principal (alçado poente). Os de tipologia T1, virados para tardoz (alçado nascente) e aquele correspondente ao piso recuado na cobertura, têm uma divisão que serve de sala/cozinha, um quarto e uma instalação sanitária. O apartamento de tipologia T1+1, correspondente a toda a área do rés-do-chão, é composto por dois quartos, uma sala/cozinha e duas instalações sanitárias, uma delas de serviço.

### 3.5.1. PAREDES

As paredes exteriores do edifício em questão são em alvenaria de pedra mista, em pedra granítica aparelhada e ordinária.

A fachada principal é revestida a azulejo pelo exterior e a fachada de tardoz é rebocada em argamassa de cal. Pelo interior ambas, depois da intervenção, foram isoladas com lã de rocha e revestidas com placas de pladur. (Figura 3.22)

A fachada recuada da cobertura foi revestida em chapa ondulada zincada com isolamento térmico pelo interior em poliestireno extrudido.



Figura 3.22 - Fachada principal com revestimento a azulejo pelo exterior (à esquerda) e revestimento interior em pladur e lã mineral (à direita).

Relativamente às paredes divisórias e de meação estas eram antes da reabilitação em tabique. Após a intervenção, as de meação permaneceram em tabique revestidas com reboco em argamassa de cal, as divisórias, algumas mantiveram-se em tabique sendo que outras foram implementadas em duplas placas de gesso cartonado preenchido com lã mineral.

### 3.5.2. COBERTURA

A cobertura deste edifício é inclinada, composta por quatro águas no piso mais elevado, que está recuado, sendo de uma água, do lado tardoz e principal, no piso mais abaixo. (Figura 3.23)

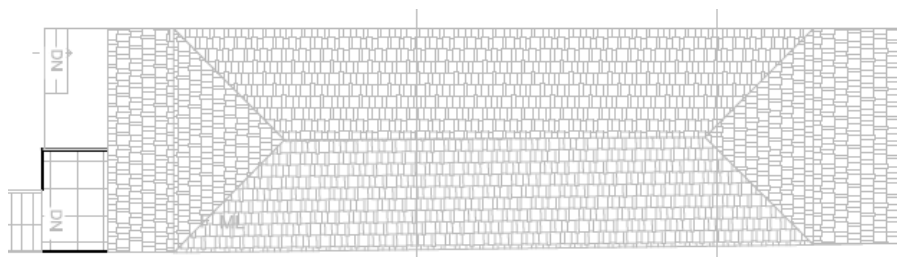


Figura 3.23 - Planta da cobertura do edifício da rua de Vilar. Fonte: RIELZA.

Esta cobertura estruturalmente é constituída por madeira, com solução de asna simples com pendural e escoras. Antes da sua recuperação era formada por telha, ripado, vara, desvão ventilado e teto. Posteriormente passou a ser telha, ripado, tela permeável ao vapor de água e estanque à água líquida, desvão ventilado, isolamento em poliestireno extrudido e teto falso em gesso cartonado.

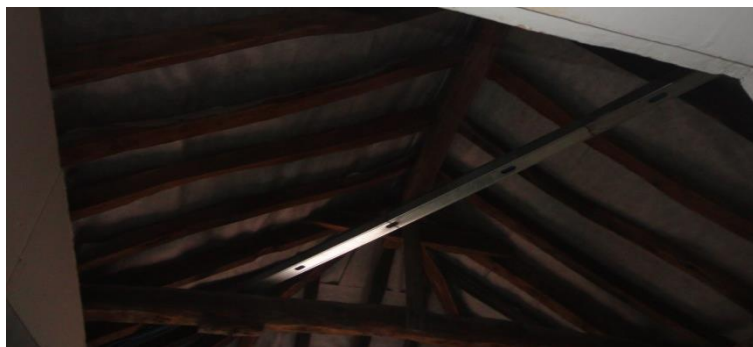


Figura 3.24 - Interior da cobertura durante o seu processo de reabilitação.

### 3.5.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Este edifício era composto, no interior e exterior, por janelas e portas em batente, com vidro simples e de duas folhas, em madeira, estas possuíam um revestimento em pintura. (Figura 3.25) Todas as portas e janelas foram reaproveitadas dando algum valor histórico, exterior e interior, ao edifício.



Figura 3.25 - Porta exterior, antes da intervenção, em madeira de batente.

## 3.6. EDIFÍCIO RUA ANTERO DE QUENTAL

A rua Antero de Quental é de muitas outras ruas centrais da cidade do Porto. É uma rua antiga e com alguma história da cidade, esta faz a ligação com a rua do Campo Lindo e com largo da igreja da Lapa.

Este edifício dispõe-se entre dois outros edifícios (em banda), é habitação multifamiliar, composto por cave, rés-do-chão, piso 1, piso 2 e piso 3. É formado por três apartamentos de tipologia T0 e cinco apartamentos T1.



Figura 3.26 - Fachada principal (à esquerda) e fachada de tardoz (à direita) do edifício na rua Antero de Quental.  
Fonte: RIELZA.

A cave, piso abaixo da cota do solo, é composta por um apartamento T0, com uma instalação sanitária e um compartimento para cozinha, sala e quarto, e parte do apartamento T1, que tem continuação no piso do rés-do-chão, formado por uma instalação sanitária, por um quarto e no piso superior por uma sala/cozinha. No rés-do-chão existe mais um apartamento T1, com um quarto/sala e uma instalação sanitária. O piso 1 e 2 contêm cada um dois apartamentos, um T1 e um T0. O piso 3, um pouco mais recuado em relação à fachada principal, possui um apartamento T1.

#### 3.6.1. PAREDES

As fachadas, principal e tardoz, são constituídas por alvenaria de pedra granítica, sendo que possuem distintos revestimentos. Ora, a fachada principal é revestida a azulejo, sendo que, a fachada de tardoz é revestida com reboco. (Figura 3.26)

Após a intervenção efetuada no edifício, o interior das fachadas passaram a ser isoladas pelo interior e a fachada tardoz passou a ser parte revestida a chapa ondulada.

A nível das paredes interiores, estas eram em tabique, que após a reabilitação, algumas foram conservadas, sendo que outras foram construídas em gesso cartonado. (Figura 4.11)

#### 3.6.2. COBERTURA

A cobertura deste edifício é inclinada de duas águas numa parte, piso recuado, e de uma água noutra parte, piso 2.

Através da Figura 3.27, é possível analisar a asna simples que esta cobertura integra na sua estrutura. O seu desvão é ventilado.



Figura 3.27 - Interior da cobertura durante a sua intervenção. Fonte: RIELZA.

Relativamente à sua constituição, a cobertura era composta apenas por telha, ripado, vara, desvão ventilado e teto. Passando a ser constituída por telha, ripado, tela permeável ao vapor de água e estanque à água líquida, isolamento térmico a nível das varas (Figura 3.28), desvão ventilado e teto.



Figura 3.28 - Isolamento térmico ao nível das varas da cobertura. Fonte: RIELZA.

### 3.6.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados que constituíam o edifício em questão eram portas e janelas, exteriores e interiores, em madeira de batente, com uma ou duas folhas e vidro simples.

Após a reabilitação, mantiveram-se grande parte das caixilharias que existiam, excepto na fachada tardoz que foram substituídas por janelas e portas em PVC.





# 4

## TIPIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

### 4.1. INTRODUÇÃO

Após uma abordagem descritiva das componentes dos edifícios que constituem a amostra de edifícios, apresenta-se a tipificação dos principais elementos construtivos dos edifícios antigos em geral. Esta tipificação tem em conta uma síntese dos elementos mais relevantes sobre os quais é de extrema importância obter conhecimento detalhado quando se pretende executar uma intervenção de reabilitação. Sendo assim, abordam-se as soluções construtivas de paredes, de coberturas e de vãos envidraçados.

No final do referente capítulo, serão apresentados num quadro síntese os tipos de elementos construtivos mais comuns, tendo por base a amostra de edifícios anteriormente descrita. Tendo em conta que, a amostra em questão é de tamanho reduzido, apesar de ser bastante representativa em relação a edifícios antigos da cidade do Porto.

### 4.2. PAREDES

#### 4.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo do tempo, as paredes resistentes ou principais foram os elementos que menos alterações têm sofrido. Todavia, devido ao constante avanço tecnológico, é notável uma tendência para a diminuição da espessura das mesmas. Tal facto desenvolve-se, por um lado, devido à necessidade de ter espaços interiores maiores e mais amplos e, por outro lado, para reduzir os seus custos associados à construção e materiais aplicados. As espessuras destas paredes poderiam facilmente atingir 1 metro, notando que atualmente podem atingir apenas alguns centímetros.

As paredes não resistentes ou divisórias eram normalmente constituídas por madeira (tabiques) e apesar de já possuírem uma espessura reduzida o seu papel é fundamental para o bom comportamento estrutural de um edifício. Um bom exemplo disso reside em edifícios com paredes resistentes de alvenaria em que, as paredes divisórias impõem uma resistência suplementar, porque têm um comportamento elástico bastante superior às paredes resistentes e, dessa forma minimiza possíveis deformações relativamente a ações horizontais, no caso de ocorrência de sismos.

Em edifícios antigos é possível tipificar as paredes em três grandes tipos: paredes de alvenaria de pedra, paredes de madeira (tabique), paredes de terra crua e paredes de alvenaria de tijolo.

#### 4.2.2. PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

As paredes de alvenaria de pedra são na generalidade o tipo de parede de uso mais alargado, sendo executada pelo homem desde longa data, como se pode verificar através dos mais antigos monumentos e edifícios existentes.

Este tipo de paredes representa vantagens como, o elevado nível de durabilidade, a grande inércia térmica e o seu indiscutível valor estético, cultural e de inclusão urbana. Como qualquer tipo de elemento construtivo, este também possui algumas desvantagens, sendo a elevada espessura das paredes, que varia entre 0,3 e 0,8 metros, dependendo da forma da pedra e do número de pisos do edifício, e que se traduz num baixo aproveitamento da área potencialmente habitável. Como também, o seu elevado custo, tanto a nível do material, como da mão-de-obra. A sua correta execução exige um elevado tempo e uma grande especialização. (Flores-Colen, I. *et al.*)

As paredes em questão, constituem um tipo de construção de paredes exteriores e interiores que relativamente à forma e assentamento da pedra, sendo paredes com ou sem embasamento, podem ser classificadas como:

- Cantarias (alvenaria de pedra aparelhada): composta por pedras regulares assentes em argamassa, sendo necessário a escolha das pedras com um melhor aspeto e mais consistentes que se aparelham numa das faces, são construídas geralmente em calcário, granito ou xisto (Figura 4.1);



Figura 4.1- Capela de Nossa Senhora da Guadalupe, Vila Real. e Sé do Porto Fontes:[8] e [9]

- Paredes de enxilharia (alvenaria de pedra aparelhada): é formada por pedras aparelhadas, denominadas geralmente por enxilhares ou silhares, de forma prismática retangular com dimensões variadas e aparelho pouco cuidado, este tipo de parede distingue-se da cantaria por apresentar na sua constituição uma maior diversidade de dimensões, e por conseguinte, na altura das fiadas (Figura 4.2);



Figura 4.2 - Paredes de enxilharia. (Fontes: [10] e Flores-Colen, I., Ferreira, V. ())

- Paredes de alvenaria de pedra ordinária: constituídas por pedra irregular assente com argamassa de cal hidráulica e areia, sendo o seu modo de execução semelhante ao da alvenaria aparelhada, embora a execução seja mais fácil e rápida pelo facto de ser menos cuidada, geralmente são construídas em calcário, granito ou xisto, sendo usualmente o seu revestimento em reboco (Figura 4.3);



Figura 4.3 - Parede de alvenaria de pedra ordinária. Fonte: Flores-Colen, I. *et al.*

- Paredes em alvenaria de pedra seca: é um tipo de construção de paredes que dispensa o uso de qualquer argamassa e está associada a alvenaria de dimensão irregular, o seu tipo de execução requer um grande cuidado no travamento das pedras entre si, através do seu encaixe e da utilização de escassilhos, geralmente no interior são rebocadas (Figura 4.4);



Figura 4.4 - Paredes em alvenaria de pedra seca. Fontes: [11] e [12].

- Paredes mistas: paredes que conjugam vários tipos de constituintes. (Figura 4.5) (Flores-Colen, I. *et al.*)



Figura 4.5 - Paredes em cantaria e alvenaria de pedra seca. Fonte: Flores-Colen, I. *et al.*

Relativamente, aos perfis transversais das mesmas, é possível tipificar as secções como: pano simples, pano duplo sem ou com ligação e pano triplo, respetivamente, representadas na Figura 4.6.

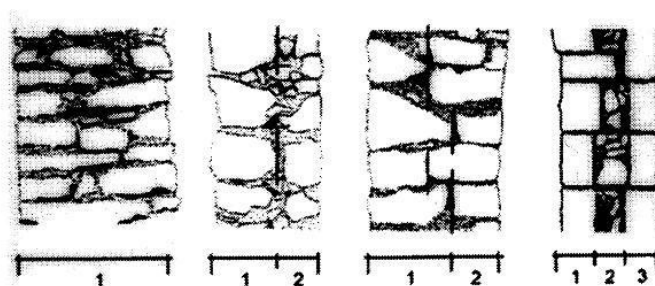


Figura 4.6 - Caracterização de secções transversais de paredes de alvenarias de pedra: (a) pano simples; (b) pano duplo sem ligação; (c) pano duplo com ligação; (d) pano triplo. Fonte: Binda *et al*, 2000.



### 4.2.3. PAREDES DE MADEIRA

Este tipo de paredes tem na sua base como principal constituinte a madeira. Este material tem propriedades muito apreciadas na construção, pois permite alguma facilidade de trabalho, devido à sua reduzida dureza, tem uma boa relação de resistência/ peso próprio, possui uma semelhante resistência em relação à compressão e à tração, contempla uma ampla variedade de qualidades e detém um bom comportamento a nível de isolamento térmico e acústico. Em contrapartida, o seu preço é bastante elevado; é um material com grande combustibilidade; se não for convenientemente tratado tem uma reduzida durabilidade; com a humidade sobre grandes variações de tamanho; tem limitações na sua dimensão e apresenta grande heterogeneidade e anisotropia. (Flores-Colen, I. *et al.*)

Podem dividir-se em paredes resistentes e paredes não resistentes.

Para as paredes resistentes existem as designações de tabique misto e tabique resistente.

- Tabique misto: a sua estrutura é composta por vigas de madeira que funcionam como um esqueleto elástico e no interior dos vãos podem ser preenchidos por tijolo maciço mais argamassa, por palha, terra ou restos da construção; o seu revestimento é geralmente em estuque tradicional com pintura ou cal.



Figura 4.7 - Paredes de tabique simples de edifícios. Fontes: Fernandes,2007; Flores-Colen, I. *et al.*)

- Tabique resistente: a sua estrutura é feita com tábuas de madeira, colocadas na vertical (a prumo), sobre as quais se prega uma segunda camada de tábuas na diagonal que, posteriormente são travadas com um ripado horizontal (fasquio); este ripado não só possui a função de travar a parede, como também para a preparar para receber o revestimento que, geralmente é em estuque tradicional com pintura ou cal. (Freitas *et al*, 2012)



Figura 4.8 - Parede de tabique resistente. Fonte: [13]

Passando para as paredes em madeira não resistentes, ou seja, divisórias, estas apenas têm como função a compartimentação do edifício, sendo delimitadas pelas paredes que definem a estrutura do edifício. Na globalidade do edifício, embora estas paredes não suportem diretamente cargas verticais, assumem um papel importante na ligação entre paredes, pavimentos, escadas e coberturas, que mediante a ação de um sismo são decisivas para o desempenho de edifício.

O seu enchimento é eventualmente, feito com cal, terra, argila, palha ou fibras vegetais sendo, o seu revestimento executado em cal e gesso. Estas, têm a designação de tabiques sendo, distinguidas entre elas, por:

- Tabiques mais simples: são assentes no soalho, pregadas com duas tábuas fixas, uma no soalho, outra no teto, e a sua constituição era feita por fiadas de tábuas costaneiras ao alto; a essas tábuas eram pregadas o fasquio horizontal, disposto paralelamente com pequenos intervalos, na ordem dos 0,03 a 0,05m, que posteriormente eram preenchidos e revestidos por argamassa;
- Tabiques de construção semelhante a um frontal forrado: são formados por prumos, escoras ou travessanhos, de pequena esquadria, onde se fixavam as costaneiras e sobre estas o fasquiado, que era pregado com aparas de madeira, em ambos os lados;
- Tabique suspenso ou aliviado: não é apoiado no vigamento, era suspenso, e normalmente, construído antes da estrutura do pavimento. (Freitas *et al*, 2012)

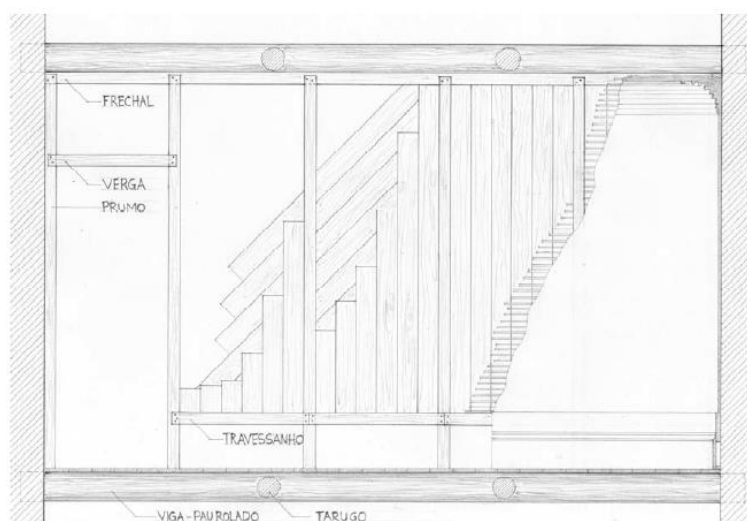


Figura 4.9 - Parede de tabique simples interior, com duplo tabuado, sem frechal interior, com prumos afastados cerca de 1m e travessanhos pregados à altura do rodapé. Fonte: Teixeira, 2004.

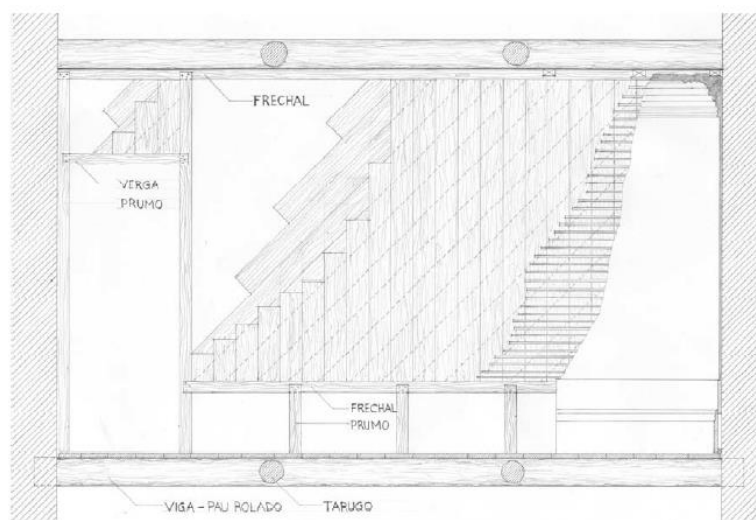


Figura 4.10 - Parede de tabique interior, com duplo tabuado e frechal inferior elevado, apoiado em prumos distanciados cerca de 1m. Fonte: Teixeira,2004.



Figura 4.11 - Parede de tabique não resistente, do edifício da rua Antero de Quental. Fonte: RIELZA.

#### 4.2.4. PAREDES DE TERRA CRUA

As paredes de terra crua têm, como o seu próprio nome indica, como material constituinte base a terra. Este material é incombustível, possui boas características térmicas, existe em abundância na natureza, é reciclável e reutilizável e implica um baixo consumo energético no processo de transformação. Em contra partida, possui alguma sensibilidade à presença de água e de roedores, apresenta uma fraca resistência à tração e torna-se impossível a sua construção em edifícios de grande altura em zonas com grande probabilidade de ocorrência de sismos. (Freitas *et al*,2012; Flores-Colen, I. *et al*.)

Dependendo do sistema construtivo, este tipo de paredes podem denominar-se por:

- Adobe: técnica de construção de paredes exteriores e interiores, constituídas por blocos (adobes), executados com terra arenosa e um pouco argilosa, que na maioria das vezes para melhorar o seu comportamento mecânico adicionava-se pedra miúda, cascalho, cal e por vezes palha, que posteriormente eram amassados e colocados em moldes de madeira (adobeiros)

para secar ao sol. As dimensões e tipologias dos adobes não são fixadas, vão variando consoante as necessidades ou apropriação de utilização;



Figura 4.12 - Secagem dos blocos (adobes) e parede em adobe. Fonte: Fernandes, 2007.

- Taipa: paredes construídas através da compactação *in situ* de terra argilosa, geralmente, misturada com areia e palha. Esta mistura é introduzida entre a cofragem de apoio, denominada por, taipais de madeira, com dimensões variáveis, a partir de 0,50 m de espessura, e que são unidos transversalmente por travessos. (Freitas *et al*, 2012; Flores-Colen, I. *et al*.)



Figura 4.13 - Parede em taipa e edifício com parede em taipa. Fonte: Fernandes, 2007.

#### 4.2.5. PAREDES DE ALVENARIA DE TIJOLO

As paredes de alvenaria de tijolo integram um sistema construtivo antigo mas com prática mais recente. Este tipo de paredes despertou, em relação às outras paredes tradicionais, uma maior facilidade e economia de execução, na medida em que se torna mais fácil o assentamento de tijolos e a abertura de roços para instalações posteriores; as espessuras e pesos próprios são bastante aceitáveis; os materiais que fazem parte da sua constituição são incombustíveis; possuem um bom comportamento a nível da higrotérmica e também satisfazem as exigências mínimas de isolamento acústico. (Flores-Colen, I. *et al*.)



Existem vários tipos de tijolo, sendo que na construção de paredes de alvenaria de tijolo, o mais usual é o tijolo, maciço ou furado, de dimensões 0,23 m x 0,11 m x 0,07 m. As juntas não devem possuir mais de 0,01 m de espessura. O tipo de parede vai depender do número de tijolos que a parede possui na sua espessura, podendo variar de paredes de tijolo a meia vez, de tijolo a uma vez, de tijolo a vez e meia, de tijolo a duas vezes e de espessura superior a duas vezes tijolo. (Freitas *et al*, 2012)

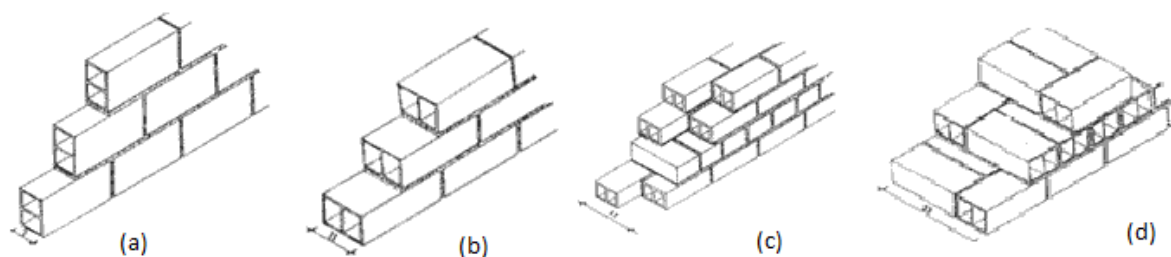


Figura 4.14 - Tipos de paredes: (a) pano de tijolo ao alto ou cutelo; (b) pano de tijolo assente a meia vez; (c) pano assente a uma vez; (d) pano assente a uma vez e meia. Adaptado de : [14]

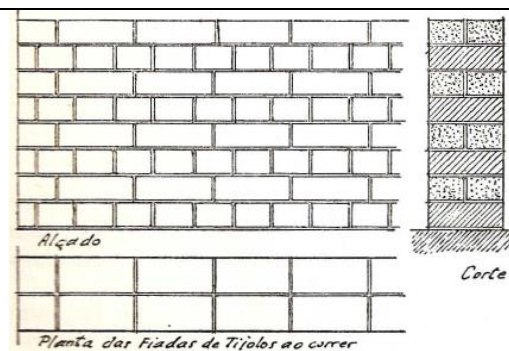
As paredes que, somente, possuem um tijolo na sua espessura, têm como designação panos de tijolo ao alto, pano de tijolo a meia vez ou pano de tijolo a uma vez, cujas espessuras correspondem, respetivamente, a 0,07 m, 0,11 m e 0,23 m, são vulgarmente utilizados na execução de paredes divisórias. Aquelas que, possuem mais de um tijolo têm designações consoante a sua disposição do tijolo como, pano assente a uma vez e meia. (Figura 4.14)

Os pilares elaborados com tijolo, também bastante mencionados pelos diferentes autores, são geralmente de secção quadrangular, tendo sempre a hipótese de, através do corte do tijolo, se obter outras formas, que posteriormente terão de ser rebocadas ou estucadas.

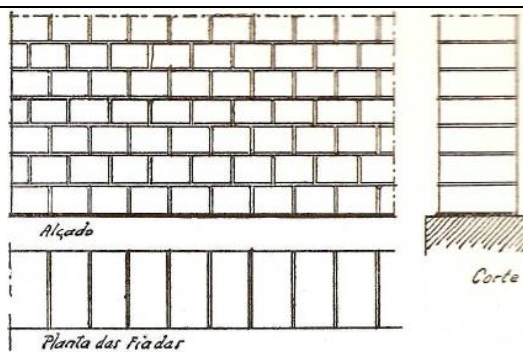
Em relação, ao sistema construtivo adotado para a construção da parede, podem distinguir-se diversas formas de executar o aparelhamento do tijolo, tendo como exemplos apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Exemplos de aparelhos construtivos de paredes em tijolo. Adaptado de: Costa, 1939.

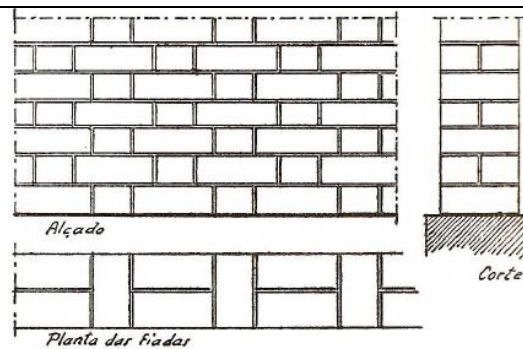
#### 1. Aparelho de sistema inglês



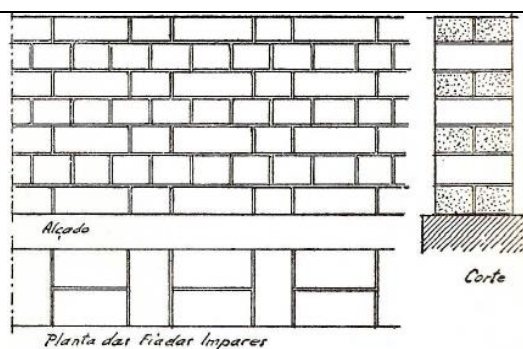
2. Aparelho de tipo Perpianho.



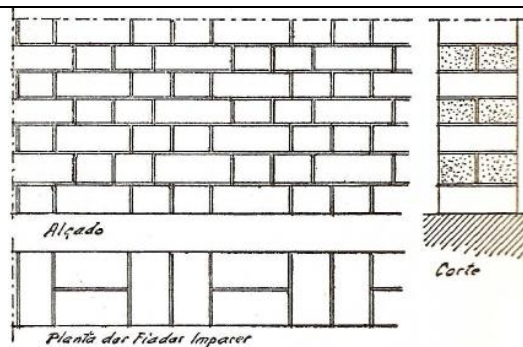
3. Aparelho de sistema flamengo.



4. Aparelho de sistema holandês.



5. Aparelho de sistema francês.



O sistema flamengo é considerado o sistema com melhor aspeto em relação aos outros, enquanto, que em resistência é considerado inferior ao sistema inglês, devido ao melhor aparelhamento. (Freitas *et al*, 2012)

### 4.3. COBERTURAS

#### 4.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As coberturas em edifícios antigos apresentam uma grande diversidade de soluções, com variações mais ou menos acentuadas, no que diz respeito à forma estrutural e materiais estruturais, à geometria, ao revestimento e isolamento, que permitem caracterizar o edifício no tempo da sua construção.

Relativamente à forma das coberturas, os edifícios antigos apresentam uma maior predominância nas coberturas inclinadas, sendo que em muito menor número existe as coberturas planas, as coberturas em terraço e as coberturas curvas, que se caracterizam pelas abóbadas e cúpulas.

Sendo as coberturas inclinadas o tipo de coberturas que se encontra em maior abundância nos edifícios antigos irá apenas tipificar-se as várias variantes existentes nessas coberturas.



Figura 4.15 - Conjunto de coberturas inclinadas em edifícios antigos. Fonte: [15]

As coberturas inclinadas apresentam uma grande variedade de formas e constituições, regendo-se pelo cumprimento de requisitos construtivos que, garantam o seu adequado desempenho, relativamente, no que diz respeito à inclinação, à reação ao fogo, à ventilação e à térmica. Relativamente à inclinação, esta pode variar de acordo com a sua localização, dependendo da probabilidade de precipitação, de exposição ao vento e de ocorrência de neve, depende também, do tipo de utilização que se dá ao espaço entre o teto do último piso e a cobertura, podendo variar em sótãos, trapeiras ou mansardas, águas furtadas, entre outras. (Appleton, 2003 e Santos, 2009).

Em construções de menor dimensão e mais pobres, a cobertura pode deduzir-se a uma só água, aumentando o seu número à medida que os edifícios vão ganhando dimensão e complexidade. Em edifícios de plantas retangulares simples, as coberturas podem ter duas, três ou quatro águas, dependendo da dimensão, geometria e forma de inserção urbana. (Appleton, 2003)

#### 4.3.2. COBERTURAS COM ESTRUTURA EM MADEIRA

A estrutura das coberturas inclinadas é, em geral, executada em madeira. Pois, a madeira é um material que se adequa às exigências requeridas, sendo um material com alguma facilidade de manuseamento, colocação em obra e também, com bastante disponibilidade. As ligações entre as peças que constituem a cobertura é feita através do encaixe entre as elas, para suportar as ações verticais, sendo ligados complementarmente por cavilhas em aço e ferragens e elementos de

contraventamento transversal, de modo a assegurar todas as ações exteriores que a cobertura é obrigada a suportar.

A nível estrutural, as coberturas mais simples, são compostas por duas peças principais (pernas), que são armações de madeira triangulares, compostas por peças de maior secção e resistência, e que, se repetem, paralela e sucessivamente ao longo de uma planta de desenho regular. Estas peças definem a inclinação do telhado, e peças de secção similar definem o cumeeira da cobertura. Com ligações a esta estrutura principal, assentam no mesmo plano peças secundárias de madeira que, definem os vãos de cerca de 0,5 m sobre os quais assenta o guarda-pó, a ripa e a telha, ou em soluções de telha vã, a vara, a ripa e a telha.

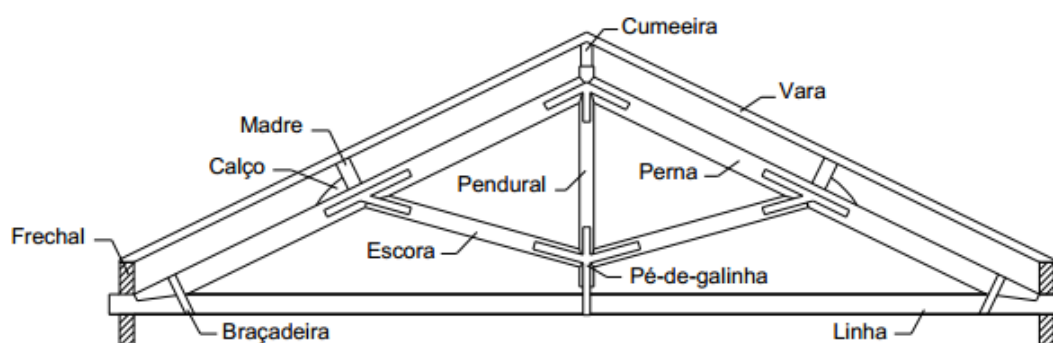
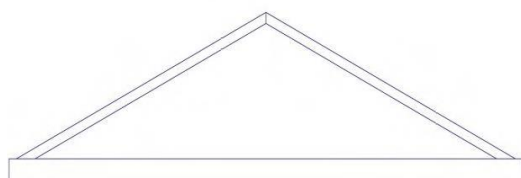


Figura 4.16 - Esquema estrutural da cobertura inclinada - Asna simples. (Fonte: Branco *et al*, 2006)

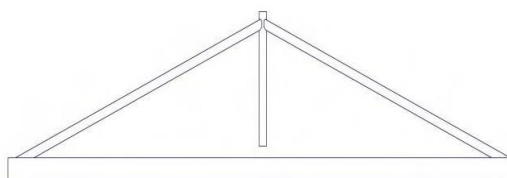
As asnas das coberturas obtidas pela triangulação de elementos ligados entre si são, segundo Appleton e vários autores, as mais comuns e que se adequam da melhor forma às várias geometrias dos edifícios.

São constituídas por várias peças que variam desde a geometria, aos elementos principais (linha e pernas), às triangulações e aos materiais. Segundo essa variação, existem as asnas mais simples, constituídas por uma linha, duas pernas e um pendural, vencendo vãos de 6 a 8 metros. A partir das asnas simples, foram sendo desenvolvidas novas asnas com o objetivo de vencer maiores vãos, que se criaram acrescentando inicialmente duas escoras e posteriormente novos pendurais e escoras com desenhos triangulares, até se alcançar por volta de 20 metros de vão. Acima de 20 metros, também foi possível construir, com asnas maiores de madeira maciça, sendo muitíssimo raras. (Freitas *et al.*, 2012)

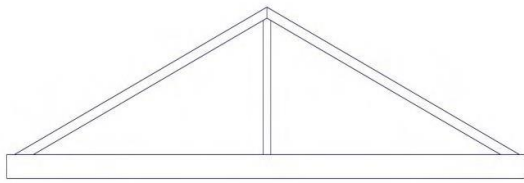
Os principais tipos de asnas são: simples, de tesoura, de escoras, de lanternim, de mansarda, fabril, de alpendre. (Figura 4.17)



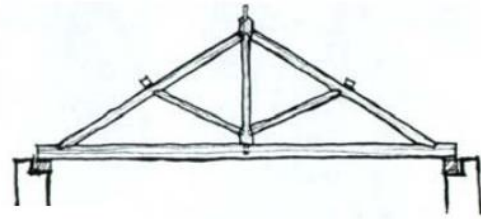
1. Asna simples;



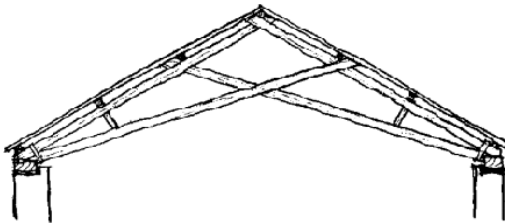
2. Asna simples com pendural;



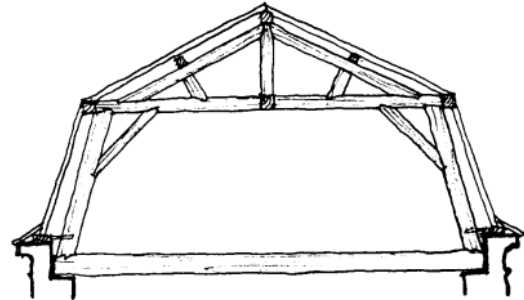
3. Asna simples com pendural apoiado na linha;



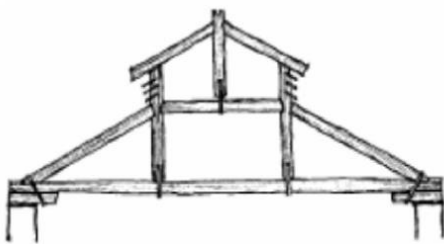
4. Asna simples com pendural e escoras;



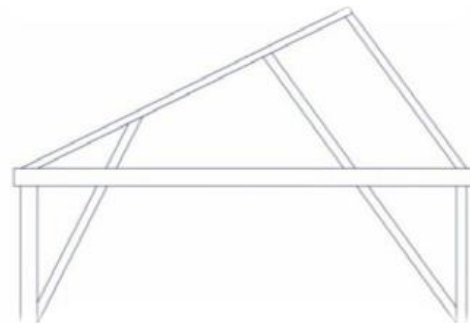
5. Asna em tesoura;



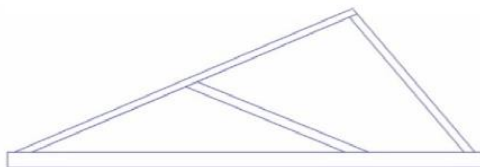
6. Asna de mansarda;



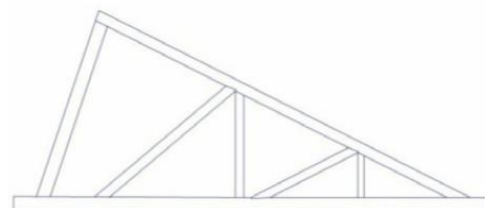
7. Asna de lanternim;



8. Asna fabril com escoras;



9. Asna fabril simples;



10. Asna fabril composta.

Figura 4.17 - Esquemas de asnas. Adaptado de: Filho e Pimental, 1999; Santos 2009.

#### 4.3.3. TIPOS DE UTILIZAÇÃO DO DESVÃO DA COBERTURA

Visto a grande predominância de coberturas inclinadas nos edifícios antigos, é essencial dar a devida atenção aos tipos de utilização que são dados ao desvão das coberturas.



Esta utilização pode ser dada tornando o espaço entre o teto e a cobertura um espaço útil (desvão habitável) ou, de outra forma, um desvão fortemente ventilado (desvão não habitável).

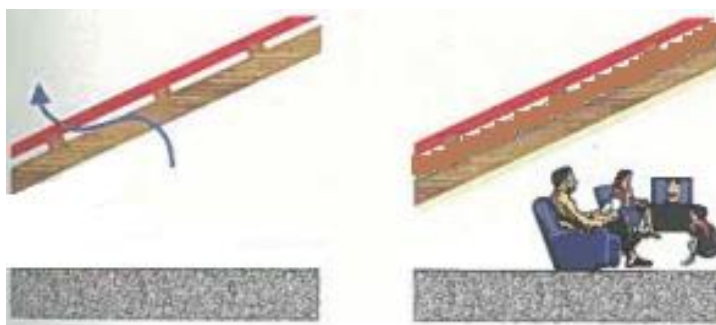


Figura 4.18 - Cobertura inclinada com desvão fortemente ventilado (à esquerda) e sobre espaço útil (à direita).

Fonte: Freitas *et al*, 2011.

## 4.4. VÃOS ENVIDRAÇADOS

### 4.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde há muito tempo, é notório nas construções de edifícios o aumento das aberturas das paredes principais para o exterior. Este aumento veio permitir a entrada de mais luz natural, melhorar a ventilação e aperfeiçoar a relação visual e ambiental, estabelecida entre o interior do edifício e o exterior.

Ora, um vão envidraçado é uma dessas aberturas, que tem como principais funções a entrada de luz solar e a ventilação dos espaços, garantindo melhorar as condições de habitabilidade de um edifício.

O termo “vão”, neste contexto da construção, tem o significado de uma abertura na envolvente vertical. O “envidraçado”, por sua vez, tem como definição o conjunto de caixilharia e vidro, significando que, nem toda a superfície de abertura da fachada é translúcida e que o caixilho, apresenta uma pequena área que funciona como uma barreira para a entrada de luz natural. (Pinho, 1991)

O *design* dos vãos envidraçados dos edifícios antigos é um fator preponderante do carácter arquitetónico desses mesmos edifícios. A sua construção, o seu desenho e as suas outras qualidades, podem fazer com que eles sejam merecedores de preservação.

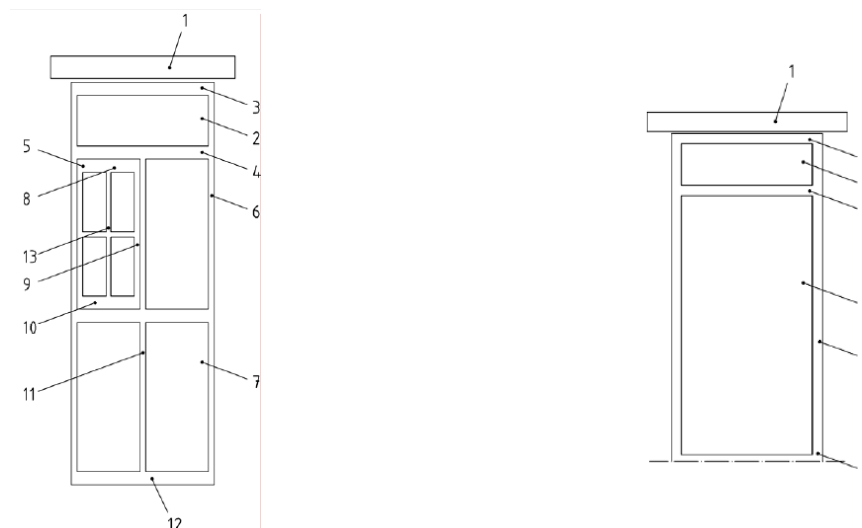
A avaliação do significado histórico ou arquitetónico destes elementos é o primeiro passo no planeamento da reparação dos mesmos e, é fundamental a existência da sua compreensão geral, quer da função, quer da sua história para se poder proceder a uma adequada avaliação.

Assim sendo, irá proceder-se à identificação dos elementos em questão para um melhor entendimento dos mesmos.

### 4.4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

De modo a uma melhor perceção e compreensão dos vãos envidraçados dos edifícios antigos, é necessário abordar alguns termos e definições acerca das componentes e tipologias que os distinguem. Através das seguintes figuras, retiradas da NP EN 12519:2008 “Janelas e portas pedonais -

Vocabulário” é possível identificar de um forma geral, os elementos que compõem as portas e janelas pedonais.



1 – Lintel, padieira ou verga;

2 – Bandeira;

3 – Travessa superior;

4 – Travessa intermédia;

5 – Folha de janela ou porta;

6 – Couceira;

7 (imagem da esquerda) – Bandeira inferior;

7 (imagem da direita) – Tábua de peito, tábua de soleira, soleira;

8 – Travessa superior da folha;

9 – Couceira da folha;

10 – Travessa inferior da folha;

11 – Montante;

12 – Tábua de peito, tábua de soleira, soleira;

13 – Pinásio.

Figura 4.19 - Esquema dos componentes de portas e janelas pedonais. Adaptado de: Instituto Português da Qualidade, 2008.

As figuras seguintes exibem desenhos mais pormenorizados da composição de uma janela de batente, de uma janela de guilhotina e de uma porta exterior que foram apresentados no trabalho de síntese elaborado por Joaquim Teixeira. Estas imagens demonstram de maneira clara e bem elaborada, todos os componentes que integram estes elementos.

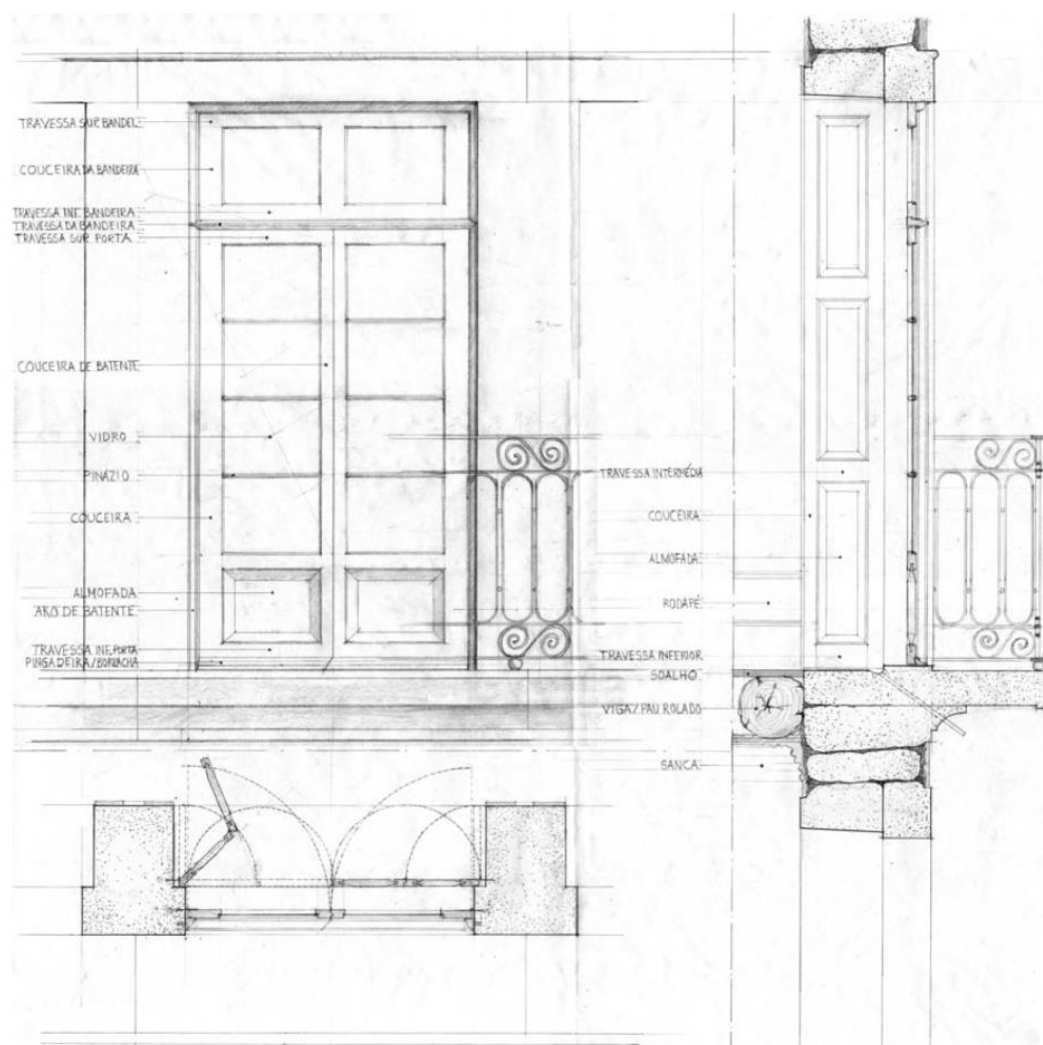


Figura 4.20 - Alçado, planta e corte tipo de janela de batente de sacada. Fonte: Teixeira, 2004.



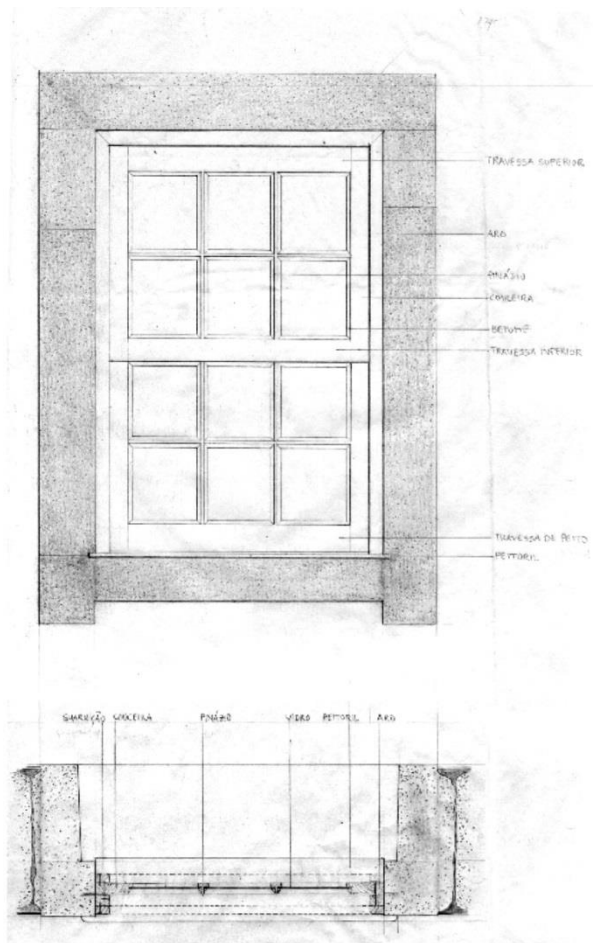


Figura 4.21 - Alçado e planta de janela de guilhotina.  
Fonte: Teixeira, 2004.

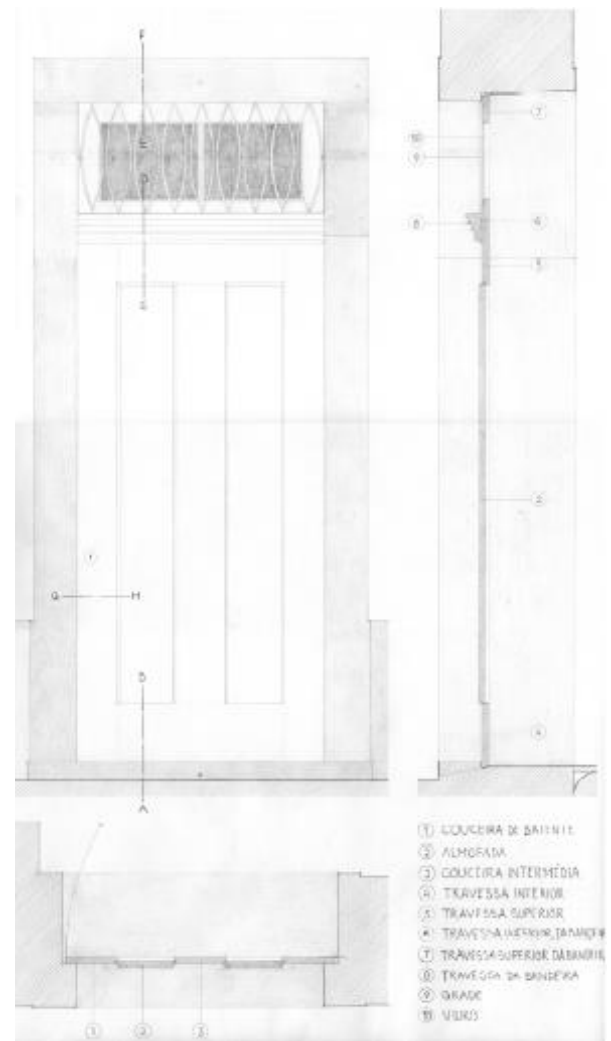


Figura 4.22 - Planta, alçado e corte de um tipo de porta exterior de entrada. Fonte: Teixeira, 2004.

Segundo o ITE 56, é possível tipificar os vãos envidraçados, de acordo com: a família de produtos, o tipo de uso, pela persiana, pelo número de folhas móveis/fixas e tipo de folhas móveis. (Pinto e Fernandes, 2010)

De acordo com, a família de produtos os vãos envidraçados podem ser:

- Janela vertical exterior;



Figura 4.23 - Janela. Fonte: [16]



Figura 4.24 - Janela com vidro superior.  
Fonte: [17]

- Janela de cobertura;



Figura 4.25 - Janela de cobertura giratória. Fonte: [18]



Figura 4.26 - Janela de cobertura projetante. Fonte:  
[18]

- Janela pedonal exterior.



Figura 4.27 - Porta. Fonte: [19]



Figura 4.28 - Porta com vidro superior. Fonte: [19]

O uso dos vãos envidraçados pode ser público ou privado.

As persianas dos vãos podem ser:



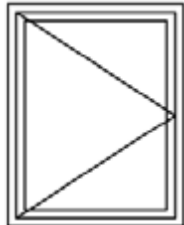

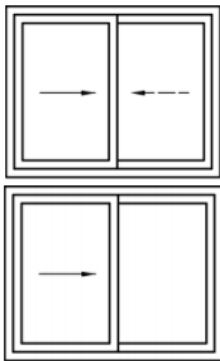

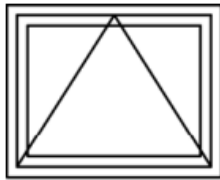

- Com caixa de estore incorporada;
- Sem caixa de estore incorporada. (Pinto e Fernandes, 2010)

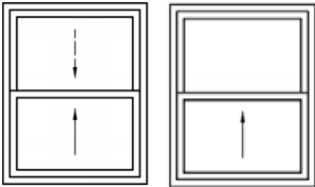

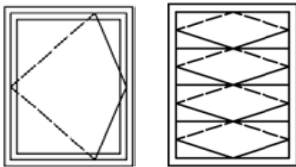

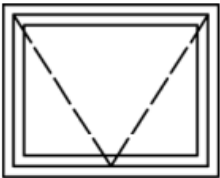

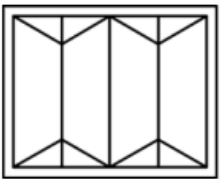

De acordo com o número de folhas, que podem ser móveis ou fixas, podem ter uma, duas, ou mais folhas.

Relativamente ao vidro que compõe os vãos envidraçados, em edifícios antigos, apenas se encontram janelas e portas com vidro simples sendo que, o vidro duplo aparece apenas mais tarde.

Relativamente, ao movimento das folhas, serão apresentadas as várias tipologias na tabela seguinte.

Tabela 4.2 - Tipologias dos vãos envidraçados, segundo o movimento das folhas. Adaptado de: Instituto Português da Qualidade, 2008; [20]; [21]; [22]; [23]; [24]; [25]; [26]; [27].

Designação	Descrição	Representação simbólica	Exemplo
<b>Fixa</b>	Não possui movimento. Essencialmente com a função de iluminação de espaços.		
<b>Batente</b>	Este tipo de janela/porta movimenta-se mediante a rotação em torno do eixo vertical fixo, coincidente com a lateral de uma ou duas folhas. Apresenta uma boa estanquidade à água e ao ar.		
<b>Correr</b>	É um tipo de janela/porta com uma ou mais folhas que deslizam horizontalmente sobre guias inferiores e não ocupam espaços interiores. Com este tipo de sistema é possível regular a ventilação do ambiente e é um sistema económico e de pouca manutenção, sensível ao vento, ruído e às perdas térmicas.		
<b>Basculante</b>	Janela de uma folha, que usualmente se abre desde a sua parte superior, girando sobre dobradiças situadas na parte inferior. Permite uma ventilação constante e moderada.		

Designação	Descrição	Representação simbólica	Exemplo
<b>Guilhotina</b>	Janela constituída por uma ou duas folhas que se movimenta na vertical, no plano da janela. A sua principal vantagem reside no facto de não ocupar espaço interior e exterior.		
<b>Pivotante</b>	Este tipo de janela movimenta-se através da rotação em torno de um eixo, não coincidente com as laterais das folhas. Este tipo de sistema limita o uso de grades ou persianas.		
<b>Projetante</b>	A janela gira sobre a horizontal através de dobradiças situadas na parte superior. Abre na parte de baixo, de dentro para fora. Tem a vantagem de não ocupar espaço interior.		
<b>De Acordeão</b>	As folhas da janela/porta movem-se para os lados, ocupando um espaço reduzido na sua ampla abertura, permitindo libertar a superfície de abertura que se deseja.		

#### 4.4.3. CAIXILHARIA

A caixilharia é o elemento que faz a separação das áreas opacas de um edifício com as respetivas áreas envidraçadas. Esta representa uma pequena parte da envolvente mas, contudo, exibe funções de elevada importância para o edifício. Para além de, suportar os painéis de vidro que compõem as áreas envidraçadas nas suas diversas posições, abertas ou fechadas, as caixilharias garantem a estanquidade dos espaços interiores e também, absorvem a força do vento, dando desta forma a sua contribuição para a otimização do desempenho energético-ambiental do edifício. Posto isto, a escolha do material que compõe a caixilharia torna-se um aspeto importante, visto que irá influenciar o maior ou menor isolamento térmico e também, o aspeto estético da fachada. [28] [29]

Nos edifícios antigos, segundo diversos autores, os materiais mais utilizados para a constituição da caixilharia eram a madeira e o ferro/aço.

A madeira é um material que apresenta uma grande complexidade e requer, relativamente à sua utilização, conhecimentos técnicos e científicos específicos. É essencial dar a devida atenção ao grau de variabilidade dentro de determinada espécie e das suas díspares propriedades que irão condicionar a sua aplicação. Na sua aplicação em caixilharias as espécies de madeira mais apropriadas e frequentemente usadas são, denominadas comercialmente como: casquinha, castanho, carvalho americano, riga nova, *afzélia doussié*, *kambala iroko*, cerejeira brasileira e sipo. (Sousa,1999)

Devido à sua disponibilidade e características inerentes, a madeira foi um material sempre utilizado pelo Homem, sendo o primeiro a ter utilização no fabrico de caixilharias. (HUD, 1999)



Figura 4.29 - Caixilharia de madeira. Fonte: [30]

Relativamente ao uso de ferro/aço em caixilharias, as primeiras janelas metálicas eram concebidas por ferreiros, na época medieval, em ferro forjado e, sendo este material uma matéria-prima com alguma raridade e representando alguma evolução tecnológica, sinónimo de requinte e sofisticação, este tipo de caixilharias, eram particularmente utilizadas em edifícios eclesiásticos e em casas de famílias abastadas. (Clemente, 1997)

No início do século XVIII, as janelas de ferro caíram em desuso, em detrimento do uso da madeira, que na altura foi considerada a que mais se adequava à arquitetura doméstica. Contudo, as caixilharias em ferro continuaram a ser implementadas, embora com maior destaque em edifícios residenciais mais modestos. Nesta época, o uso do ferro em caixilharias, fez-se sentir com maior destaque nos países mais ricos nessa matéria-prima, nomeadamente os Estados Unidos, passando de uma produção artesanal para uma produção mais industrial. (Clement, 1997)

Em Portugal, o uso do ferro em caixilharias nunca teve um grande impacto, pois a sua utilização era sobretudo presenciada em serralharia artística. (Santos, 2012)

Posteriormente, com a descoberta de fornos, corrigir as impurezas do ferro e adicionar-lhe propriedades que garantissem melhores resistências relativamente, ao desgaste, ao impacto, à corrosão, entre outras, fez com que o ferro fosse substituído em grande parte pelo aço. Desta forma, no início do século XIX, as caixilharias em aço laminado surtiram um grande impacto, provocado pela sua boa resistência ao fogo e esbelteza, comparativamente às caixilharias de madeira, sobretudo em edifícios industriais. (HUD, 1999)

Todavia, o aço laminado é altamente suscetível à corrosão e desenvolve um fraco desempenho a nível térmico, acabando por cair em detrimento com o aparecimento de novos materiais com comportamentos mais eficazes e mais económicos. (Santos, 2012)



Figura 4.30 - Caixilharia e gradeamento em ferro forjado - Lapa, Portugal (à esquerda) e janela de aço (à direita).  
Fontes: fotógrafo David Ramalho e Tutton e Hirst, 2007.

#### 4.5. TIPIFICAÇÃO TENDO EM CONTA A AMOSTRA

De modo a simplificar e a relacionar a tipificação de edifícios antigos existentes em Portugal com a pequena amostra de edifícios antigos relativos à cidade do Porto, apresentada nesta dissertação, elaborou-se um quadro resumido acerca dos tipos de elementos construtivos mais correntes, de paredes, coberturas e vãos envidraçados. Consoante o estudo efetuado acerca desses elementos foi possível confirmar-se e salientar-se, através da amostra, alguns elementos mais relevantes, representados no seguinte quadro, que serão abordados e estudados no próximo capítulo.

Tabela 4.3 – Quadro síntese dos elementos construtivos mais correntes em edifícios antigos.

<b>Paredes da envolvente</b>
Alvenaria de pedra
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ordinária</li> <li>Aparelhada</li> <li>Mista (aparelhada e ordinária)</li> </ul>
Tabique resistente
<b>Coberturas com estrutura em madeira em asna simples</b>
Desvão habitável
Desvão não habitável
<b>Vãos envidraçados</b>
Caixilharia de madeira com vidro simples
Caixilharia metálica
<ul style="list-style-type: none"> <li>Janelas de guilhotina com uma/duas folhas</li> <li>Janelas/portas de batente com uma/duas folhas</li> </ul>

Inicialmente, o objetivo da amostra seria analisar os vários projetos pertencentes aos edifícios na área da térmica, acústica, ventilação, higrotérmica e da segurança contra incêndios mas, por falta de alguns destes projetos o rumo do trabalho modificou-se.

Essa alteração de objetivos levou a que o estudo da amostra fosse feito com vista a obter estatísticas representativas da caracterização dos elementos construtivos típicos em edifícios antigos. Porém, o número de edifícios que compõe a amostra em análise é reduzido, sendo que é composto por cinco edifícios. Teria um impacto muito mais significativo se o número de edifícios fosse maior, pois dessa forma seria mais confiável e abrangente fazer uma análise dos tipos de elementos construtivos mais comuns em edifícios antigos. Por limitação de tempo de elaboração deste trabalho e devido à falta de projetos de especialização não foi exequível a realização do trabalho originalmente pretendido, nem a angariação de novos casos de edifícios para fazerem parte da amostra.

Apesar disso, a amostra proporcionou um contacto com o mundo de trabalho na área da reabilitação, o que levou a visita a algumas obras proporcionando uma visão mais real daquilo que é abordado nesta dissertação. Tal proximidade aconteceu com o auxílio da empresa RIELZA que alargou a visão acerca de como se processam alguns pormenores relacionados com a área.





## 5

## MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

### 5.1. NOTAS INTRODUTÓRIAS

Cada vez é mais relevante, não só a reabilitação de edifícios antigos, como também, a sua conjugação com a diminuição de custos, tanto de investimento, como de exploração (custo da energia). É essencial que as soluções adotadas sejam tecnicamente ajustadas e economicamente viáveis, de forma a melhorar a eficiência energética, conforto, bem-estar e a qualidade do ambiente interior.

Ora, no presente capítulo irão ser analisadas medidas de melhoria da eficiência energética numa vertente técnico-económica de algumas possíveis soluções de reabilitação de elementos da envolvente de edifícios antigos.

Partindo de várias soluções de paredes exteriores, coberturas e vãos envidraçados de edifícios antigos, apresentam-se propostas de reabilitação podendo desta forma, o utilizador saber se, existe e qual a solução que seja mais benéfica, tanto a nível de redução de consumos/custos, como também obter uma análise do período de retorno do possível investimento. Sendo que, a aplicação desta análise deverá ser feita, de modo a ter um carácter mais rigoroso, para casos em concreto uma vez que cada obra de intervenção é única.

Para o estudo em questão, irá ser utilizado o programa OPTITERM – LFC, do laboratório de física das construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

#### 5.1.1. TÉRMICA

Uma das grandes exigências estabelecidas nos produtos que incorporam qualquer tipo de obra prende-se com a “Economia de energia e isolamento térmico”, querendo isto dizer, que um edifício e as suas instalações de aquecimento, arrefecimento, ventilação e produção de água quente devem ser criados e adaptados de modo a necessitarem o menos possível de energia para o seu funcionamento, tendo em consideração o conforto dos ocupantes e as condições climáticas do local. ([31]; Freitas *et al*, 2012)

Estas exigências relacionadas com o controlo da diminuição da quantidade de energia despendida nos edifícios em geral são motivo de grande preocupação, associados ao facto de ser um dos sectores de atividade com maiores gastos de energia primária. Este facto vem reforçar não só a ideia de dotar os novos edifícios de medidas que aumentem o desempenho energético, como também implementar tais medidas em edifícios antigos sujeitos a intervenções. Tais medidas, em edifícios antigos podem ser referidas a um reforço no isolamento térmico da envolvente opaca, ao tratamento dos vãos

envidraçados, conceção de sistemas necessários para renovação de ar, eventual recurso a tecnologias solares e melhoria da eficiência energética de eventuais sistemas e equipamentos. (Freitas, *et al*, 2012)

Em 4 de Abril de 2006, foram aprovados o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE), respetivamente, Decretos-Lei nº 80/2006 e nº 79/2006, que vieram implementar uma série de requisitos com a finalidade de garantir condições de conforto térmico de edifícios e assim, assegurar um consumo mais racional da energia despendida para esse efeito. Também, na mesma data foi publicado o Decreto-Lei nº78/2006 que cria o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) com o intuito de assegurar e certificar o cumprimento de toda a regulamentação relacionada com a eficiência energética, qualidade do ar e da utilização adequada de sistemas de energias renováveis; de modo a proporcionar aos ocupantes dos edifícios um maior conforto a nível térmico e energético e também, desta forma minimizar possíveis situações patológicas nos elementos integrantes dos edifícios.

Para o efeito, nestes regulamentos não estão incluídos os edifícios localizados nos centros históricos ou classificados, apenas se refere a edifícios novos e a obras de grande remodelação. Todavia, é importante encarar, qualquer que seja a intervenção de reabilitação, numa perspetiva de melhoramento das condições a nível do comportamento térmico do edifício e dessa forma assegurar a sua redução no consumo energético, até porque os edifícios antigos foram construídos antes da implementação de qualquer regulamentação e por isso, na grande generalidade, carecem de grandes medidas relacionadas com essa área.

Uma melhoria do desempenho térmico da envolvente do edifício acarreta menores gastos na fatura energética anual, assim como a diminuição da probabilidade de ocorrência de patologias de carácter higratérmico e, para isso é necessário enquadrar da melhor forma os seguintes parâmetros: coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), fator solar ( $g_L$ ), bem como, a inércia térmica interior ( $I_t$ ). Este trabalho apenas se irá focar no coeficiente de transmissão térmica como parâmetro principal. (Freitas *et al*, 2012)

O Coeficiente de Transmissão Térmica ( $U$ ) é um parâmetro relativo a um dado elemento, que quantifica a quantidade de calor, por unidade de tempo e superfície, que atravessa uma superfície de área unitária quando o elemento está sujeito a uma diferença unitária de temperatura entre os ambientes que separa.

No RCCTE são impostos valores máximos e também, valores de referência, de coeficientes de transmissão térmica para os elementos opacos consoante a zona climática.

Tabela 5.1 - Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis. Fonte: RCCTE, 2006.

Elemento da envolvente	$U_{\text{máx}} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$		
	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elemento exterior			
Vertical	1,80	1,60	1,45
Horizontal	1,25	1,00	0,90
Elemento interior			
Vertical	2,00	2,00	1,90
Horizontal	1,65	1,30	1,20

Tabela 5.2 - Coeficientes de transmissão térmica de referência. Fonte: RCCTE, 2006.

Elemento da envolvente	Uref [W/(m².°C)]		
	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elemento exterior			
Vertical	0,70	0,60	0,50
Horizontal	0,50	0,45	0,40
Elemento interior			
Vertical	1,40	1,20	1,00
Horizontal	1,00	0,90	0,80
Envidraçados	4,30	3,30	3,30

De forma aos valores mínimos regulamentares serem ultrapassados, tendo em conta os valores de referência do RCCTE, recomendam-se, como demonstrado no quadro seguinte, cinco níveis de qualidade térmica, relativos a paredes, coberturas e vãos envidraçados.

Tabela 5.3 - Níveis de qualidade da solução de acordo com os valores limites de U. Adaptado de: Freitas, V. P. de et al, 2012.

Nível de qualidade	Valor limite de U
<b>N0</b>	$U_{\text{máx}} > U > U_{\text{ref}}$
<b>N1</b>	$U = U_{\text{ref}}$
<b>N2</b>	$U = 0,75 \times U_{\text{ref}}$
<b>N3</b>	$U = 0,60 \times U_{\text{ref}}$
<b>N4</b>	$U = 0,50 \times U_{\text{ref}}$

## 5.2. MODELO ECONÓMICO

### 5.2.1. CUSTO GLOBAL

O custo global deste estudo resulta do somatório dos custos iniciais e dos custos de exploração, através da fórmula (5.1), em €/m².

$$C_{\text{global}} = C_{\text{inicial}} + C_{\text{exploração}} \quad (5.1)$$

Ora, o custo inicial está associado ao custo do investimento para aplicação da solução de reabilitação energética implementada. Sendo que, para soluções relativas à parte opaca do edifício, neste caso, paredes exteriores e coberturas, o valor é dependente da espessura do isolamento térmico aplicado, e para os vãos envidraçados já depende da solução escolhida. (Freitas, V. P. de et al, 2012)

Os custos de investimento para as diversas soluções de reabilitação energética apresentadas foram baseados em valores médios da base de dados do gabinete Prof. Eng.º Vasco Peixoto de Freitas, Lda,

com alguma pesquisa, em paralelo, do *site* Gerador de Preços da Construção da CYPE Ingenieros na secção de obras de reabilitação em Portugal. Os custos encontrados no CYPE Ingenieros na grande maioria não correspondiam aos custos praticados no mundo real da reabilitação.

Os preços aqui apresentados já incluem o IVA. Ora, segundo o portal das finanças, "são tributados à taxa reduzida de 6% "as empreitadas de beneficiação, remodelação, renovação, restauro, reparação ou conservação de imóveis ou partes autónomas destes afectos à habitação, com excepção dos trabalhos de limpeza, de manutenção dos espaços verdes e das empreitadas sobre bens imóveis que abrangam a totalidade ou uma parte dos elementos constitutivos de piscinas, saunas, campos de ténis, golfe ou minigolfe ou instalações similares. A taxa reduzida não abrange os materiais incorporados, salvo se o respectivo valor não exceder 20% do valor global da prestação de serviços"". Portanto como na grande maioria dos casos as obras de reabilitação exigem mais mão-de-obra, comparativamente à quantidade materiais, a taxa de IVA andarà entre os valores de 6 a 23% [32]

Os custos de investimento considerados para as soluções de paredes exteriores, coberturas e vãos envidraçados estão representados, respetivamente, nas tabelas Tabela 5.4, Tabela 5.5 Tabela 5.6.

Tabela 5.4 – Custos de investimento associados às soluções das paredes exteriores em estudo, de acordo com o valor de U.

Custos de investimento* (€/m <sup>2</sup> )				
Uf [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Paredes de alvenaria de pedra			
	Isolamento térmico pelo exterior		Isolamento térmico pelo interior	
	PE.S1	PE.S2	PE.S3	PE.S4
0,74	40	-	-	-
0,54	44	-	-	-
0,42	48	-	-	-
0,76	-	96	-	-
0,58	-	100	-	-
0,47	-	104	-	-
0,72	-	-	26	-
0,53	-	-	30	-
0,42	-	-	34	-
0,61	-	-	-	41
0,47	-	-	-	45
0,38	-	-	-	49

\*custo por solução reabilitada

Tabela 5.5 – Custos de investimento associados às soluções das coberturas em estudo, de acordo com o valor de U.

Custos de investimento* (€/m²)		
Uf [W/(m².°C)]	Coberturas inclinadas	
	Isolamento térmico - Desvão não ocupado	Isolamento térmico - Desvão ocupado
	C.S1	C.S2
0,65	31	-
0,49	35	-
0,39	39	-
0,33	43	-
0,89	-	46
0,67	-	50
0,54	-	54
0,46	-	58

\*custo associado à limpeza da cobertura e à aplicação do isolamento

Tabela 5.6 – Custos de investimento associados às soluções dos vãos envidraçados em estudo, de acordo com o valor de U.

Custos de investimento* (€)													
Uf [W/(m².°C)]	Caixilharia de madeira						Caixilharia metálica						
	Conservação da caixilharia		Introdução de uma caixilharia interior		Substituição da caixilharia existente		Conservação da caixilharia		Introdução de uma caixilharia interior		Substituição da caixilharia existente		
	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	c/ proteção
2,9	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	-	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,3	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	-	-	-	-	440	-	-	-	-	-	-	-	-
2,2	-	-	-	-	-	470	-	-	-	-	-	-	-
3,7	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	68	-	-	-	-	-
2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-
2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	-	-	-
3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-
2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	330	-

\*custos associados aos tipos de soluções para os vãos envidraçados, com ou sem introdução de uma persiana ou estore.

O custo de exploração é um custo variável que depende das necessidades de aquecimento, dos rendimentos dos equipamentos e do custo da energia. De qualquer forma, independentemente do sistema instalado, um aumento da eficiência energética do edifício em estudo alia-se a uma diminuição dos custos de exploração, cujo valor pode ser calculado, para um determinado ano, através da seguinte expressão, em €/m<sup>2</sup>.ano:

$$C_{exp,n} = \frac{Q}{\eta} \frac{C_{e,n}}{(1 + \alpha)^n} \quad (5.2)$$

Em que:

$Q$  Consumo de energia [kWh/m<sup>2</sup>.ano];

$C_{e,n}$  Custo da energia no ano  $n$  [€/kWh];

$\eta$  Eficiência nominal do sistema;

$\alpha$  Taxa de juro;

$n$  Ano para o qual se pretende calcular, a partir do ano de referência inicial.

(Freitas, V. P. de et al, 2012)

As horas de aquecimento consideradas correspondem a 24 horas, sendo que para situações distintas, ou seja, menos horas de aquecimento, os resultados aqui apresentados não são ajustados. Quanto menor for o período de aquecimento menos compensatórios serão os resultados de uma intervenção em qualquer elemento da envolvente de um edifício.

#### 5.2.2. VARIAÇÃO E CUSTO ATUAL DA ENERGIA

A aquisição de energia elétrica para consumidores domésticos (baixa tensão) sofreu uma evolução a nível de preços nos últimos anos. Segundo dados da Direção Geral de Energia e Geologia, a evolução do preço de aquisição da energia elétrica entre os anos de 1980 e 2012 está representada na Figura 5.1. Os restantes valores, posteriores a 2012, foram estimados em função da taxa de crescimento, dos últimos anos do preço da energia, tendo-se considerado vários tipos de cenários. Para o estudo em questão optou-se por se utilizar o valor percentual da taxa de estimativa média dos últimos anos, de 5,56% ( $\alpha'$ ), embora os outros cenários também sejam plausíveis.

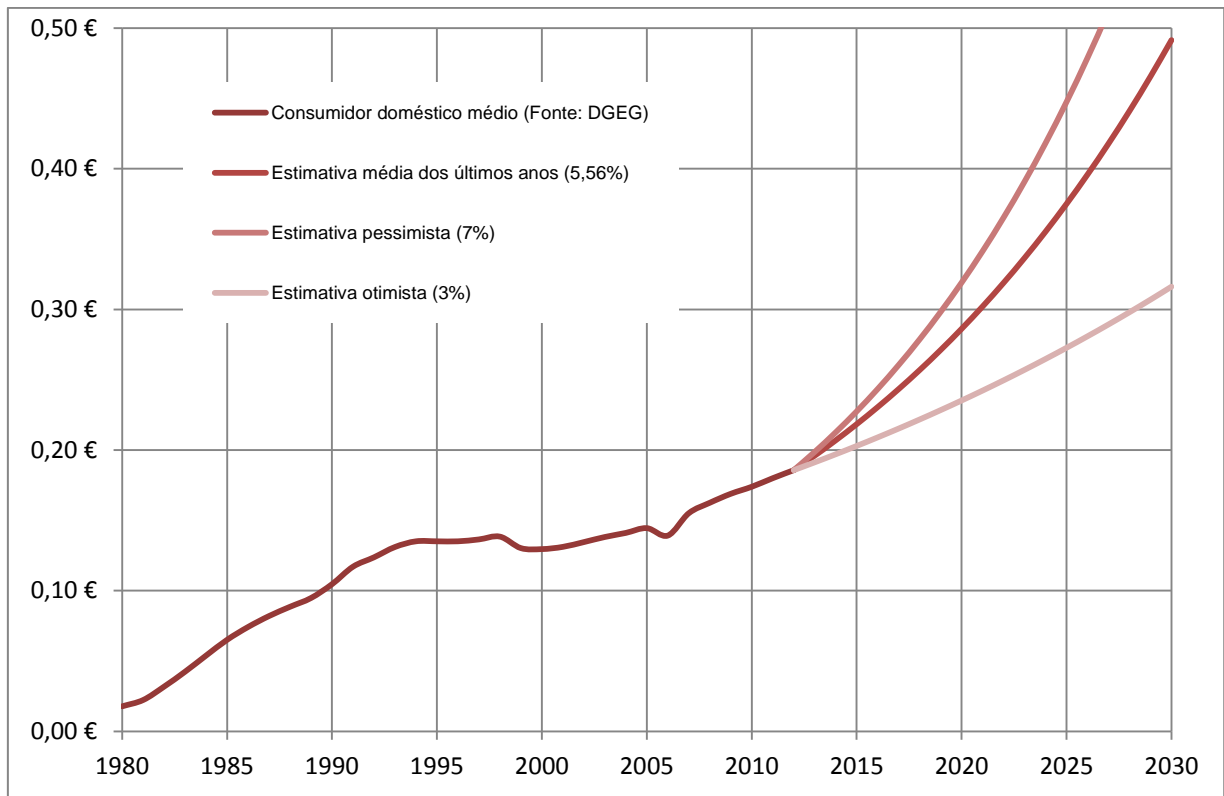


Figura 5.1 - Evolução do preço de aquisição de energia elétrica para um consumidor doméstico médio. Adaptado de: [33]

Para se fixar um custo da energia admitiu-se que os sistemas elétricos utilizados para o aquecimento dos edifícios são dotados de uma eficiência nominal de 100% ( $\eta=1$ ) e que, estão em funcionamento num período de 24 horas diárias, ou seja, existe um aquecimento contínuo do edifício na estação de aquecimento (Inverno), como já foi mencionado anteriormente. Atualmente, ano 2013, o custo estimado da energia elétrica de baixa tensão considera-se de 0,19 €/kWh.

De acordo com esta metodologia, para se determinar o custo da energia, em €/kWh, num ano  $n$  pode utilizar-se a seguinte fórmula:

$$C_{e,n} = C_{e,i}(1 + \alpha')^n \quad (5.3)$$

Em que:

$C_{e,n}$  Custo da energia no ano  $n$ ;

$C_{e,i}$  Custo inicial da energia (neste estudo esse valor estimado corresponde a 0,19€/kWh);

$\alpha'$  Taxa de variação do custo da energia (neste estudo estimou-se 5,56%)

(Freitas, V. P. de *et al*, 2012)

### 5.2.3. TAXA DE CAPITALIZAÇÃO

Para a determinação da taxa de capitalização é de grande importância compreender alguns conceitos macroeconómicos, de modo a que, os valores optados estejam de acordo com panoramas próximos da realidade futura.

#### 5.2.3.1. Taxas de juro

A taxa de juro, intitulada na atividade económica como “o preço do dinheiro”, é a importância de juro, apresentada em percentagem da importância emprestada, paga por unidade de tempo. (Nordhaus, 1998)

Atualmente no sistema financeiro existe um variado conjunto de taxas de juro, que se distinguem sobretudo, através do prazo e do risco. O prazo diz respeito ao período de tempo a que os empréstimos têm que estar pagos, e o risco associa-se ao perigo de se perder parte do dinheiro emprestado. (Nordhaus, 1998)

O juro é calculado em termos monetários e não em termos de bens e serviços. Deste modo, surgiram duas taxas de juro distintas, a taxa de juro nominal e a taxa de juro real. A taxa de juro nominal calcula a retribuição em euros por ano, por cada euro investido. Todavia, a moeda pode tornar-se uma medida flutuante, no modo em que os preços de bens e serviços se alteram de ano para ano, devido à inflação. Posto isto, a taxa de juro nominal não tem em conta o que o credor deveria receber, em valores reais com essas alterações de custos em bens e serviços. Após este facto, foi então necessário a introdução do conceito de taxa de juro real, que calcula a quantidade de bens que se pode conseguir obter no futuro pelos bens que necessita no presente. (Nordhaus, 1998)

#### 5.2.3.2. Taxa de inflação

A taxa de inflação é um dos conceitos relacionados com a variação de preços dos bens e serviços, que tendo esta designação tem o significado de um aumento constante no nível global de preços. Ora a variação de preços dos bens e serviços tem inerente os seguintes conceitos e definições respetivas, que dependem da relação com a linha de estabilidade:

- Inflação – aumento constante no nível global de preços;
- Desinflação – diminuição ou eliminação da inflação;
- Deflação – redução do nível da atividade económica, seguida de queda generalizada dos gastos e dos preços;
- Reflação – recuperação de processos deflacionários depressivos. (Rossetti, 1997 e Griffiths, 1981)

#### 5.2.3.3. Taxa de juro e taxa de inflação

Sendo a definição de taxa de capitalização, a taxa de juro necessária para atualizar o capital ao ano zero, é importante relacionar as duas taxas mencionadas anteriormente, como é possível observar na seguinte figura.



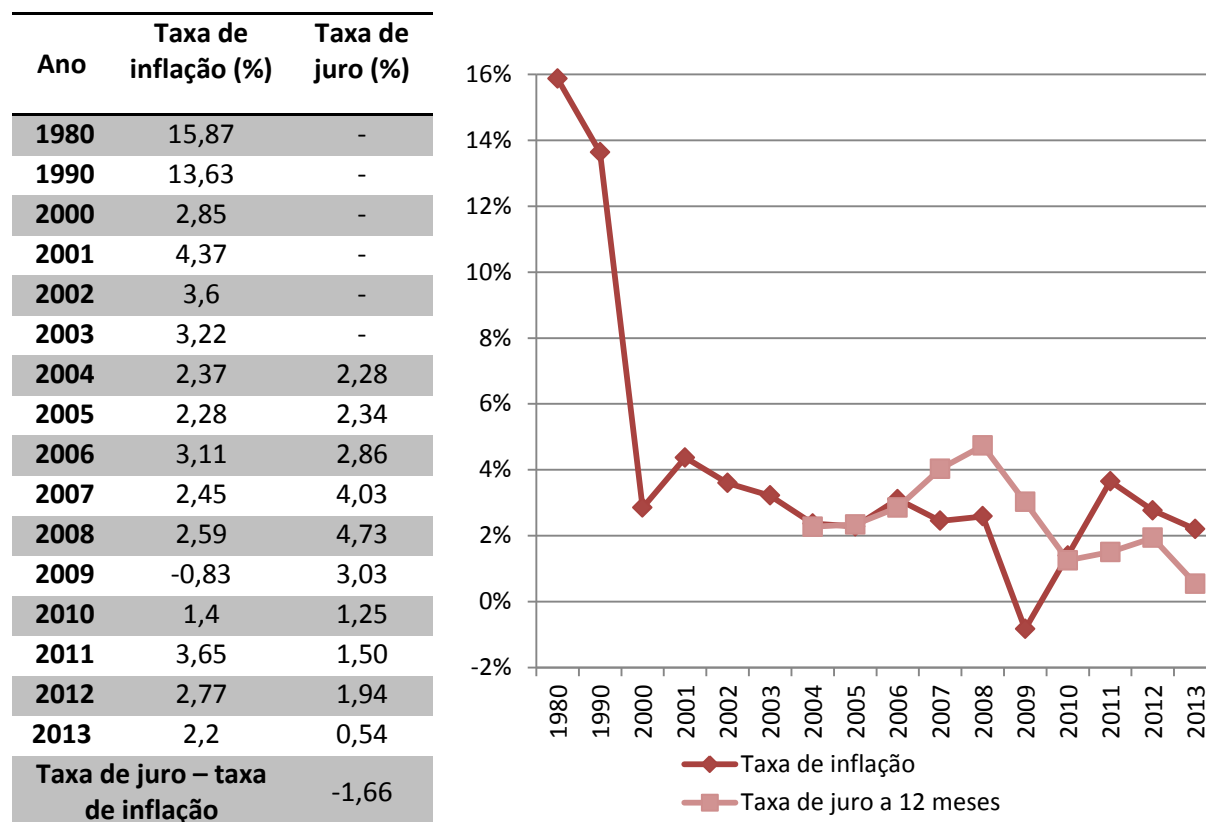


Figura 5.2 – Taxas de inflação e taxas de juro a 12 meses em Portugal. Adaptado de: [34] e [35].

Ora, as taxas de juro para 12 meses (1 ano) disponibilizadas pela Euribor são taxas elaboradas com base na média de juros cobrados pelos bancos na Zona Euro entre si para se financiarem, ou seja, funciona como uma taxa interbancária. Para a taxa de juro aqui aplicada estar mais exata, deveria ter sido acrescentado o valor percentual do *spread* bancário, que funciona basicamente como a percentagem de lucro aplicada pelos diversos bancos, que neste momento de crise ronda valores aproximados a 3%. [36] [37]

Para a determinação mais real e precisa da taxa de capitalização considerou-se fazer-se a diferença entre a taxa de juro e a taxa de inflação, para que desta forma seja tido em conta não só o “valor do dinheiro” como também, a alteração de preços de bens e serviços do mercado. O valor obtido para este ano deu um resultado negativo e, visto que, em anos anteriores obtiveram-se valores positivos, considera-se, mais adequado para as simulações a utilização de um valor nulo aproximando-se com maior precisão de uma realidade futura.

Provavelmente o valor de zero para esta taxa não é o valor mais correto economicamente mas será o valor considerado para este trabalho.

#### 5.2.4. PERÍODO DE RETORNO

O melhor desempenho energético de um edifício está associado a menores gastos na fatura energética anual por parte dos consumidores. Com as alterações propostas para aumentar a eficiência energética do edifício, apenas haverá um benefício económico efetivo a partir da altura em que o custo do investimento feito inicialmente, nomeadamente no melhoramento térmico da envolvente do edifício

juntamente com os custos de exploração, é vencido pelo custo do consumo acumulado de energia para aquecimento do ambiente interior do edifício sem qualquer tipo de aplicação das medidas de melhoria. (Freitas, V. P. de et al, 2012)

Esse período de tempo, em que o custo global da solução da reabilitação analisada é ultrapassado pelo custo global da situação inicial, sem quaisquer alterações, designa-se período de retorno, sendo este correspondente a um ano  $n$ . (Freitas, V. P. de et al, 2012)

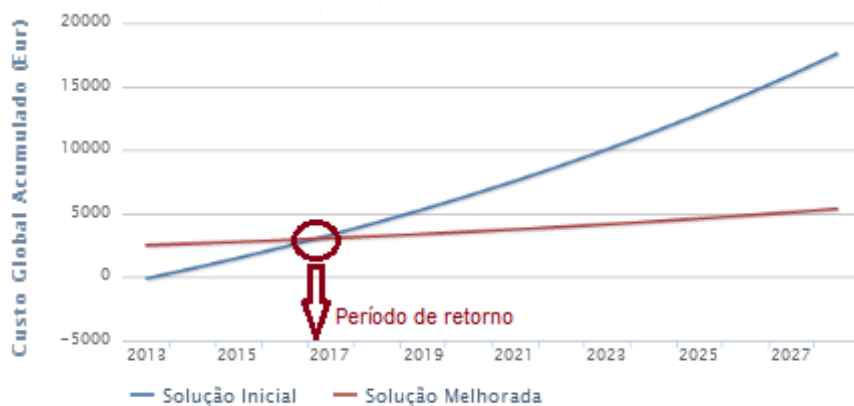


Figura 5.3 - Determinação do período de retorno.

### 5.3. DESCRIÇÃO DA FOLHA DE CÁLCULO OPTITERM – LFC

#### 5.3.1. DADOS DE ENTRADA

Com o intuito de desenvolver uma melhor percepção acerca do programa que se irá utilizar para a análise das soluções de reabilitação propostas, irá apresentar-se na tabela seguinte uma descrição dos dados necessários para o seu funcionamento.

Tabela 5.7 – Dados de entrada do programa OPTITERM - LFC. Adaptado de: [38]

Dados a introduzir	Descrição	Unidades
<b>Altitude</b>	Distância na vertical acima do nível médio do mar a que se encontra o edifício.	m
<b>Distância à costa</b>	Distância a que o edifício se encontra ao ponto mais próximo da faixa costeira.	Km
<b>Concelho</b>	Concelho onde se localiza o edifício.	-
<b>Zona/graus-dias</b>	Zona climática e os respetivos graus-dias do concelho onde se situa o edifício. Estes valores são alvo de correção mediante a altitude e a distância à costa	-
<b>Tipo de elemento</b>	Elemento construtivo que se pretende analisar, sendo restrito aos disponíveis no programa. Ex: parede exterior, cobertura, etc.	-
<b>Área do elemento</b>	Área do elemento ou conjunto construtivo que se pretenda analisar.	m <sup>2</sup>
<b>Anos</b>	Período de anos a que se pretende efetuar o estudo.	Anos
<b>Taxa de capitalização (<math>\alpha</math>)</b>	Taxa de juro necessária para atualizar o capital ao ano 0.	%
<b>Horas de aquecimento</b>	Horas diárias a que o sistema de aquecimento do edifício ou fração se encontra em funcionamento.	h
<b>Variação da energia (<math>\alpha'</math>)</b>	Taxa que reflete o aumento do custo da energia ao longo dos anos.	%
<b>Custo atual da energia</b>	Custo atual da energia utilizado para o sistema de aquecimento.	€/kWh
<b>Custo investimento</b>	Custo por m <sup>2</sup> , traduzido por uma estimativa orçamental, a efetuar na intervenção do elemento construtivo em estudo.	€/m <sup>2</sup>
<b>Nível</b>	Nível de qualidade da solução construtiva, através da comparação do seu coeficiente de transmissão térmica (U), com os valores de referência no regulamento.	-

Relativamente ao parâmetro “U” - coeficiente de transmissão térmica, o programa traduz a comparação do valor, com os valores limites definidos no RCCTE. Sendo que, são apresentados os níveis de acordo com o valor obtido antes e após a intervenção no elemento em questão.

Na imagem que se segue é possível observar o aspeto do programa referido antes de qualquer introdução de dados.

**U.PORTO**  
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

**OPTITERM - LFC**  
MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA  
ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES  
ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

**OPTITERM - LFC**

NOVA SIMULAÇÃO EXECUTAR SIMULAÇÃO MANUAL OPTITERM

**DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS**

Altitude [m]:  Anos: 15 Ano(s)

Distância à costa [km]: Inferior a 10 kms Taxa Capitalização (α) [%]:

Concelho: PORTO Horas de Aquecimento: 24

Zona/Graus-dias:  Variação Energ. (α') [%]:

Tipo de elemento: Cobertura Custo Actual Energ. [€/kWh]:

Área do elemento [m²]:  Custo Investimento [€/m²]:

EXECUTAR SIMULAÇÃO

**SOLUÇÃO INICIAL** **SOLUÇÃO MELHORADA**

NivelU<sub>t</sub> [W/(m²·°C)]:  NivelU<sub>t</sub> [W/(m²·°C)]:

Figura 5.4 – Aspeto inicial dos dados *input* do programa OPTITERM – LFC.

Os parâmetros introduzidos nesta análise irão ser abordados de modo geral, não sendo parâmetros de casos reais.

### 5.3.2. DADOS DE SAÍDA

De modo a fazer-se uma análise mais abrangente, os casos de análise foram feitos para todas as zonas climáticas de Inverno existentes em Portugal, sendo selecionadas as cidades de Lisboa, Porto e Bragança, com zonas climáticas de Inverno respetivamente, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> e I<sub>3</sub>. Para a sua introdução no programa é necessário referir as suas altitudes sendo, respetivamente, de 56 metros, 74 metros e 570 metros. Também de salientar a sua proximidade em relação à costa, sendo Lisboa e Porto consideradas a uma distância inferior à costa de 10 km e Bragança com uma distância à costa superior a 10 km. [39]

Os tipos de elementos construtivos analisados serão, as paredes exteriores, as coberturas e os vãos envidraçados.

O período de anos sobre o qual foi feito o estudo foi de 15 anos, valor que o programa adquire automaticamente.

O coeficiente de transmissão térmica foi determinado através da consulta e pesquisa do ITE50.

Os custos das soluções estudadas foram baseados em custos médios reais da base de dados do gabinete Prof. Eng.º Vasco Peixoto de Freitas, Lda e também, em alguns casos, utilizou-se o *site* de gerador de

preços do CYPE Ingenieros. Sendo que, em situações concretas é necessário um estudo mais aprofundado a nível de aquisição de preços mais exatos.

#### 5.4. SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E SUA ANÁLISE

Partindo da tipificação dos elementos construtivos definida no capítulo 4, ir-se-á propor algumas soluções de melhoria energética para alguns elementos construtivos opacos e não opacos da envolvente de edifícios.

##### 5.4.1. PAREDES EXTERIORES

Para análise das paredes exteriores utilizou-se a solução apresentada na Tabela 5.8 como solução inicial, com nível de qualidade N0 para todas as localidades estudadas.

Tabela 5.8 - Características da solução de parede inicial.

PE	Espessura (m)	Coefficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Nível de Qualidade
Paredes de alvenaria de pedra	0,3	2,9	N0

Para melhorias do comportamento térmico de paredes exteriores, originando uma diminuição dos custos de exploração, melhorias no conforto térmico e no desempenho energético do edifício existem duas grandes alternativas, relativas ao posicionamento relativo do isolamento térmico na parede, que podem ter várias soluções construtivas, das quais serão apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 5.9 - Soluções de reabilitação energética de paredes exteriores.

Soluções	
<b>Sistema de isolamento térmico pelo exterior</b>	PE.S1 - Revestimento contínuo sobre isolante (ETICS)
	PE.S2 - Revestimento independente, contínuo ou descontínuo, e espaço de ar ventilado (fachada ventilada)
<b>Sistema de isolamento térmico pelo interior</b>	PE.S3 - Revestimento leve (gesso cartonado, madeira, derivados de madeira)
	PE.S4 - Associado a uma forra pesada (alvenaria de tijolo, elemento pré-fabricado de betão etc.)

Após consulta do ITE 50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, chegou-se aos valores dos coeficientes de transmissão térmica “U” correspondente às várias soluções propostas acima supracitadas, com variação na espessura de isolamento térmico. O isolante

térmico utilizado para as soluções PE.S1, PE.S3, PE.S2 e PE.S4 tem como coeficiente de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) o valor de 0,04 W/m.°C.

Tabela 5.10 - Coeficientes de transmissão térmica da parede exterior, consoante a espessura do isolamento térmico aplicado nas várias soluções.

Soluções	PE.S1	PE.S2	PE.S3	PE.S4
Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m2.°C)]	Uf [W/(m2.°C)]	Uf [W/(m2.°C)]	Uf [W/(m2.°C)]
40	0,74	0,76	0,72	0,61
60	0,54	0,58	0,53	0,47
80	0,42	0,47	0,42	0,38

- Para a solução PE.S1 – Sistema de isolamento térmico pelo exterior com revestimento contínuo sobre isolante (ETICS), apresenta-se na figura seguinte os custos de investimento associados às diferentes espessuras de isolamento e outros dados *input* para o programa OPTITERM - LFC.

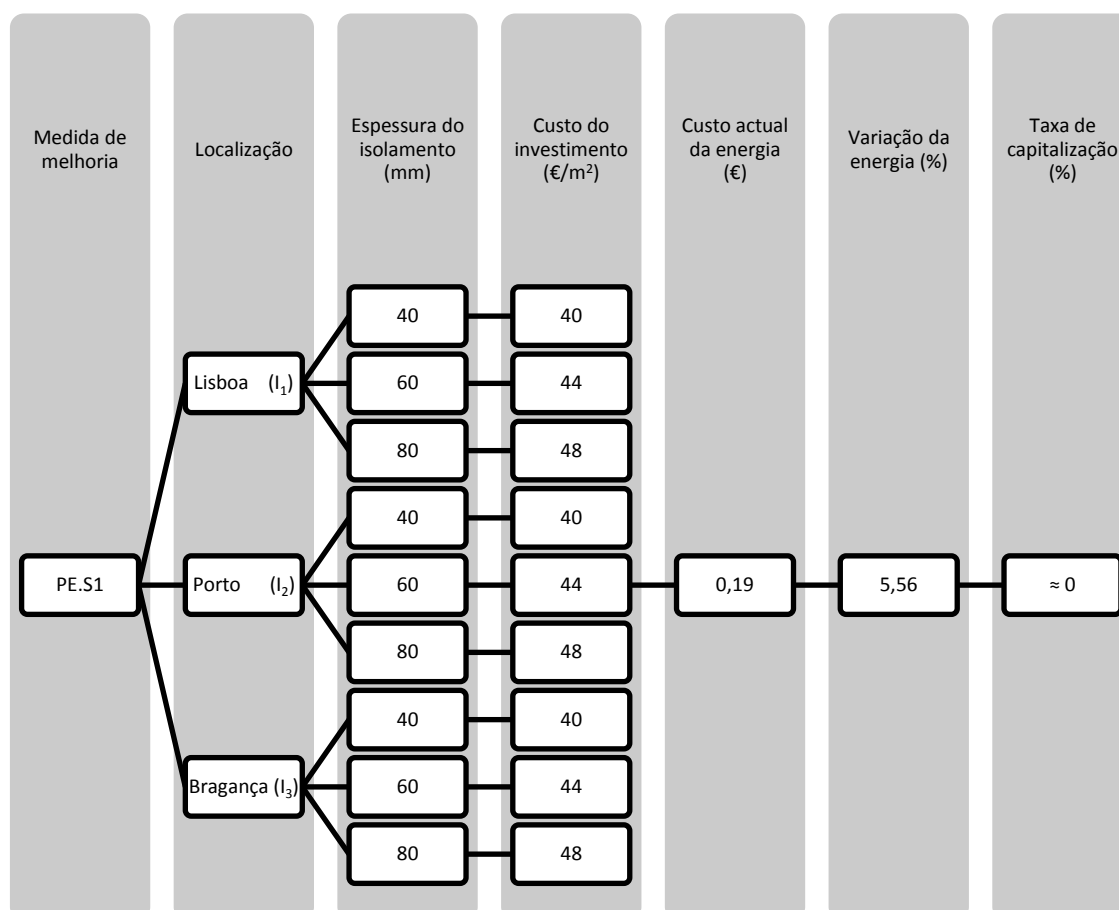


Figura 5.5 – Dados da solução PE.S1.

Após a introdução dos dados, para as localizações de Lisboa, Porto e Bragança, apresentam-se as seguintes figuras e tabelas relativas à interpretação dos resultados da solução em questão.

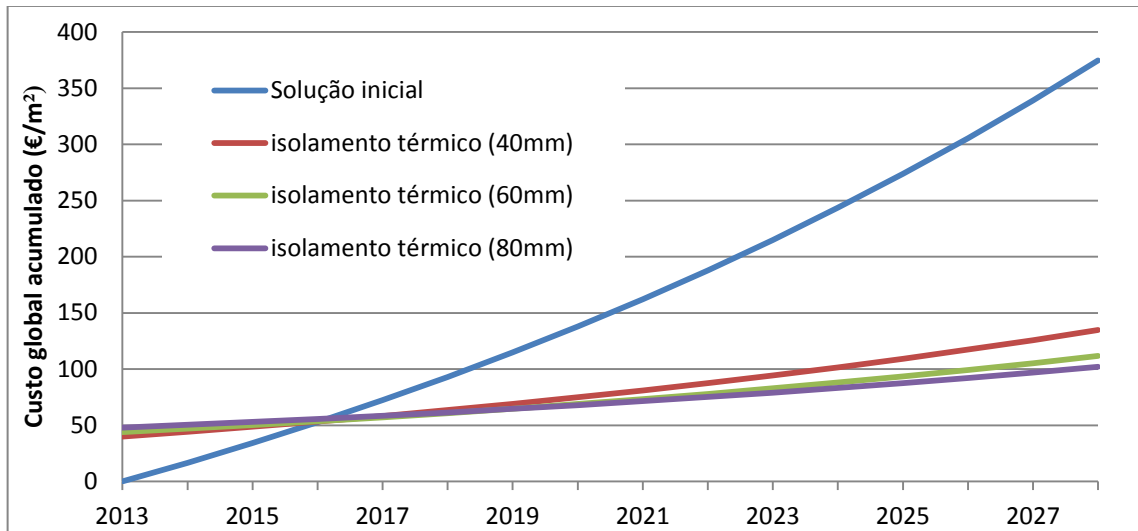


Figura 5.6 - Avaliação económica da solução PE.S1, para Lisboa (I<sub>1</sub>).

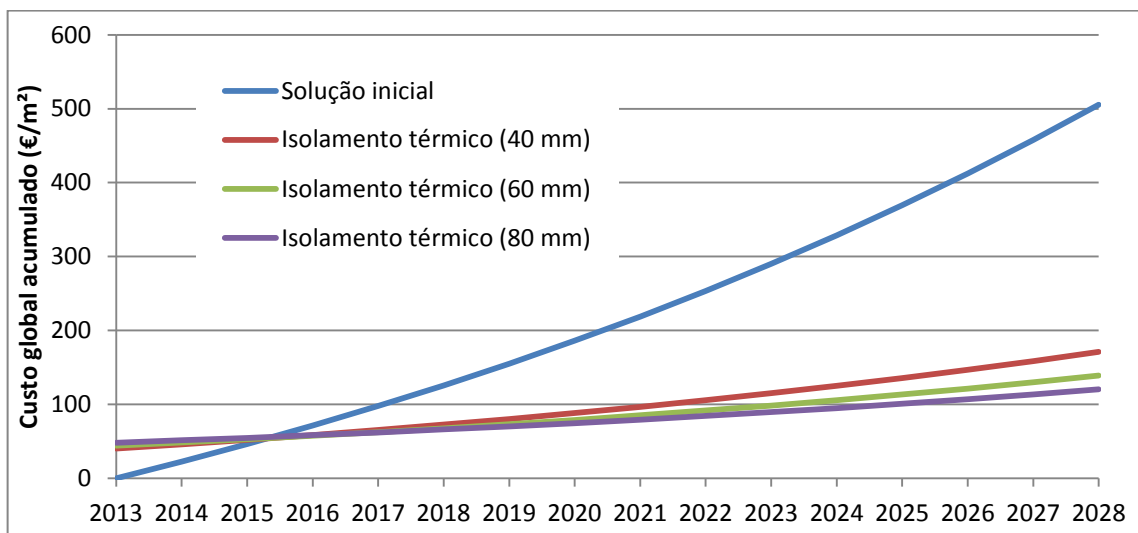


Figura 5.7 - Avaliação económica da solução PE.S1, para Porto (I<sub>2</sub>).

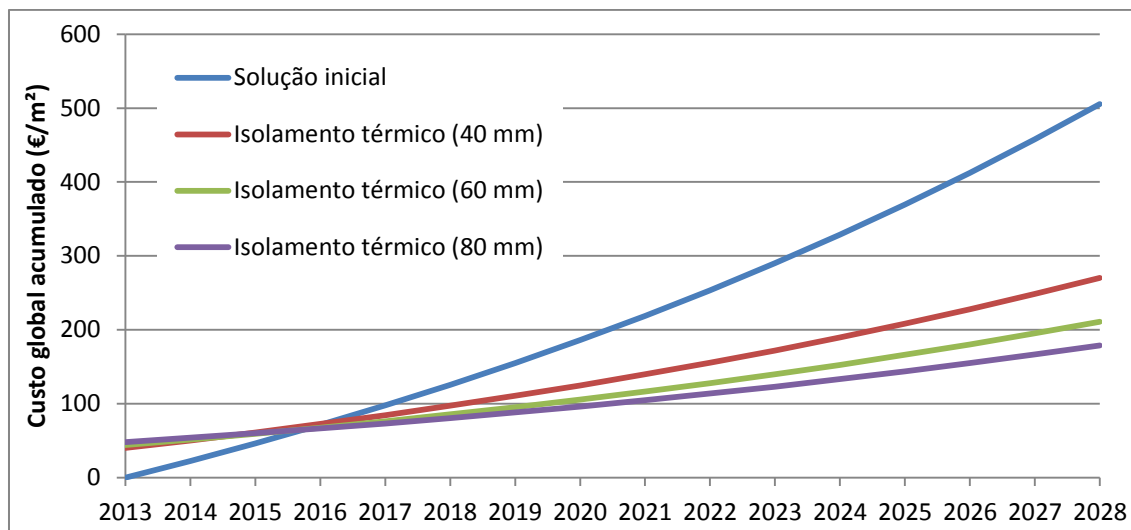
Figura 5.8 - Avaliação económica da solução PE.S1, para Bragança (I<sub>3</sub>).

Tabela 5.11- Valores da análise económica da solução PE.S1, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S1	40	0,74	N0	11,78	40	4	26	112	225
	60	0,54	N1	12,92	44	4	28	123	247
	80	0,42	N3	13,49	48	4	27	126	256

Tabela 5.12- Valores da análise económica da solução PE.S1, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S1	40	0,74	N0	15,77	40	3	48	164	315
	60	0,54	N1	17,29	44	3	53	179	345
	80	0,42	N2	18,24	48	3	54	188	363

Tabela 5.13- Valores da análise económica da solução PE.S1, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S1	40	0,74	N0	27,93	40	2	116	321	589
	60	0,54	N0	30,59	44	2	127	351	645
	80	0,42	N1	32,11	48	2	131	367	675



Perante os resultados demonstrados para esta solução, é possível verificar as diferenças existentes nas várias zonas climáticas de Inverno. Lisboa, zona I1, com o clima menos severo obtém um período de retorno maior, de 4 anos, comparado com as outras regiões, Porto, zona I2, com período de retorno de 3 anos e Bragança, zona I3, com o clima mais rigoroso, obteve como período de retorno 2 anos. Ora, sendo o período de retorno o tempo em que o custo global da situação melhorada (custo investimento + custo de exploração) é ultrapassado pelo custo global da situação existente (custo de exploração), quanto maior for o custo associado à exploração maiores são as necessidades energéticas para aquecimento do ambiente interior logo, mais rigorosa será a estação de Inverno. A nível de qualidade da solução os resultados são maiores para a região I1 (Lisboa) e menores para a região I3 (Bragança), chegando apenas ao nível N1 de qualidade para a espessura de isolamento de 80 mm.

- Para a solução PE.S2 – Sistema de isolamento térmico pelo exterior com revestimento independente, contínuo ou descontínuo, e espaço de ar ventilado (fachada ventilada) apresenta-se a figura seguinte com alguns dos dados a introduzir no OPTITERM - LFC.

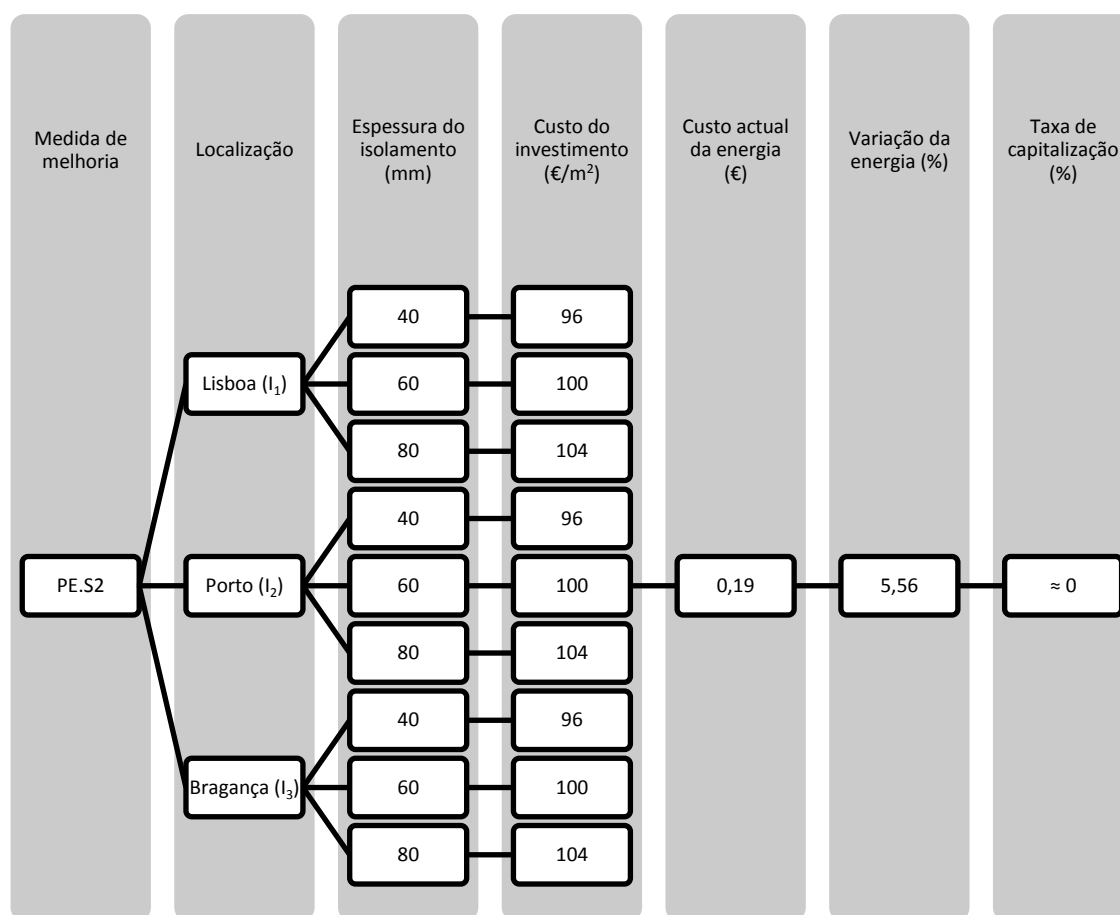


Figura 5.9- Dados da solução PE.S2.

Depois de se obterem os dados necessários, apresenta-se a sua interpretação económica nas imagens e nas tabelas que se seguem, representando as três regiões estudadas.

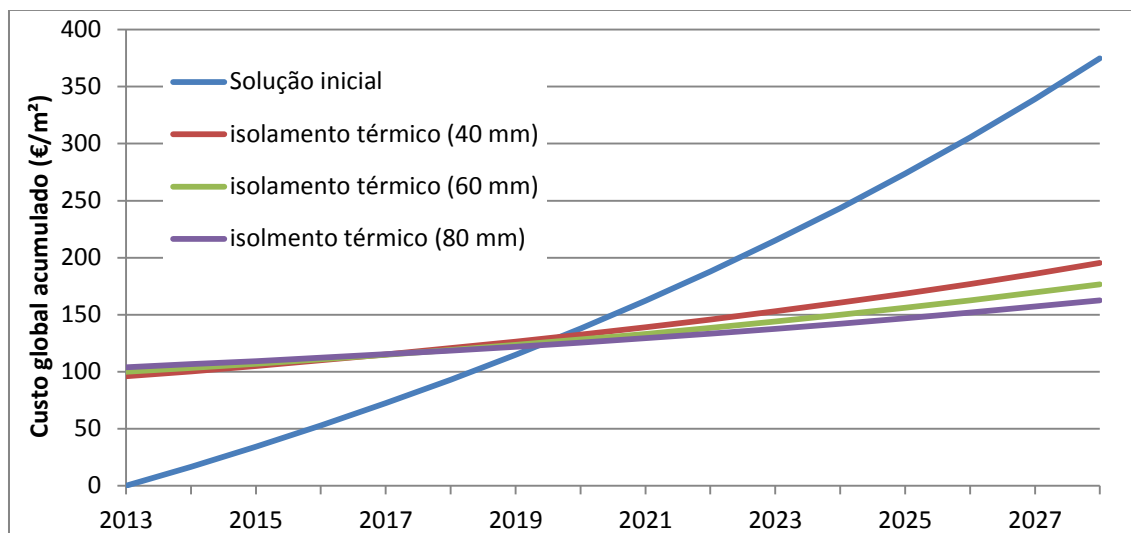


Figura 5.10 - Avaliação económica da solução PE.S2, para Lisboa (I1).

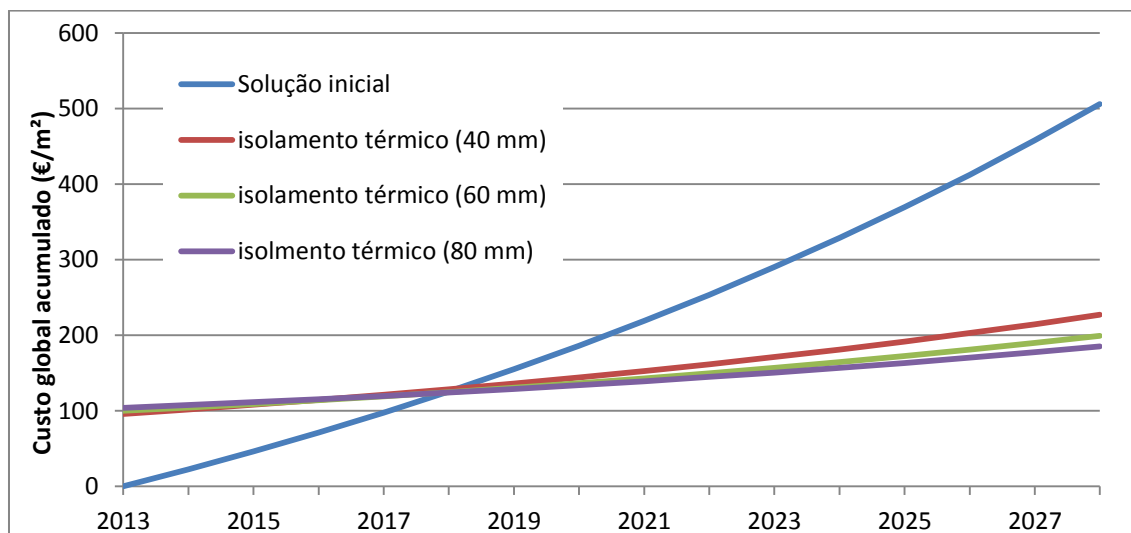


Figura 5.11 - Avaliação económica da solução PE.S2, para Porto (I2).

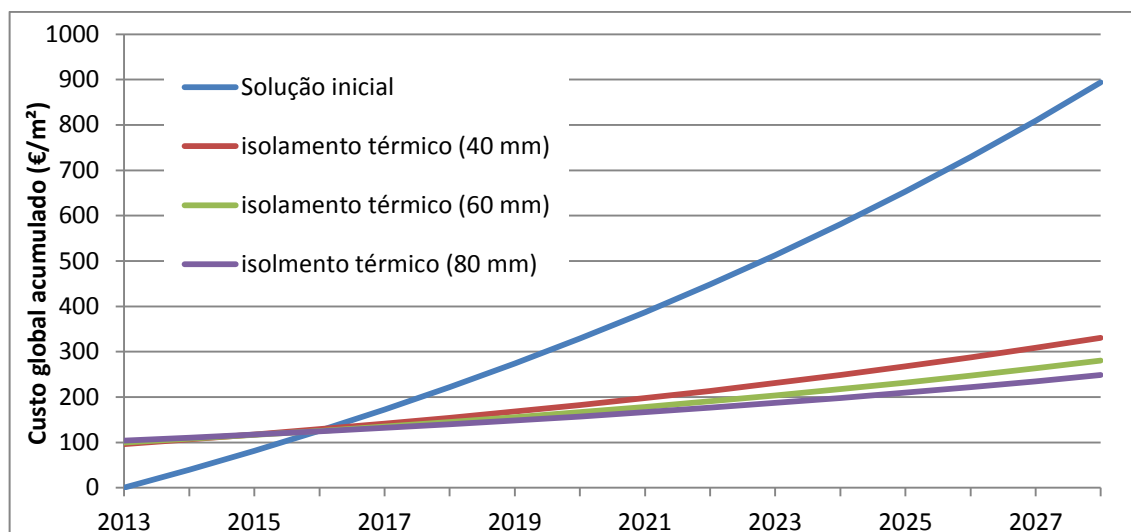


Figura 5.12 - Avaliação económica da solução PE.S2, para Bragança (I3).

Tabela 5.14 - Valores da análise económica da solução PE.S2, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S2	40	0,76	N0	11,59	96	8	-	54	165
	60	0,58	N1	12,54	100	7	-	62	182
	80	0,47	N2	13,30	104	7	-	68	195

Tabela 5.15 - Valores da análise económica da solução PE.S2, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S2	40	0,76	N0	15,77	96	6	-	108	259
	60	0,58	N1	17,10	100	6	-	121	285
	80	0,47	N1	17,86	104	6	-	127	298

Tabela 5.16 - Valores da análise económica da solução PE.S2, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S2	40	0,76	N0	27,74	96	4	59	262	528
	60	0,58	N0	30,02	100	4	68	288	576
	80	0,47	N1	31,54	104	4	72	303	606

Para a solução de isolamento pelo exterior com fachada ventilada são notórios, novamente, os resultados distintos entre as regiões climáticas, sendo a zona I3 aquela que adquire um maior benefício e a zona I1 com menor. Esta solução apresentou períodos de retorno maiores comparativamente à solução de ETICS visto que, os custos associados a esta solução têm valores mais elevados. Ora, para Lisboa, região I1, o período de retorno corresponde a 7 e 8 anos dependendo da espessura de isolamento escolhida, para o Porto, região I2, o período de retorno é de 6 anos e para Bragança, região I3, o período de retorno é de 4 anos.

- Relativamente à solução PE.S3 – Sistema de isolamento térmico pelo interior com revestimento leve (gesso cartonado, madeira, derivados de madeira) são apresentados em seguida os parâmetros que irão ser introduzidos para a análise no OPTITERM - LFC.

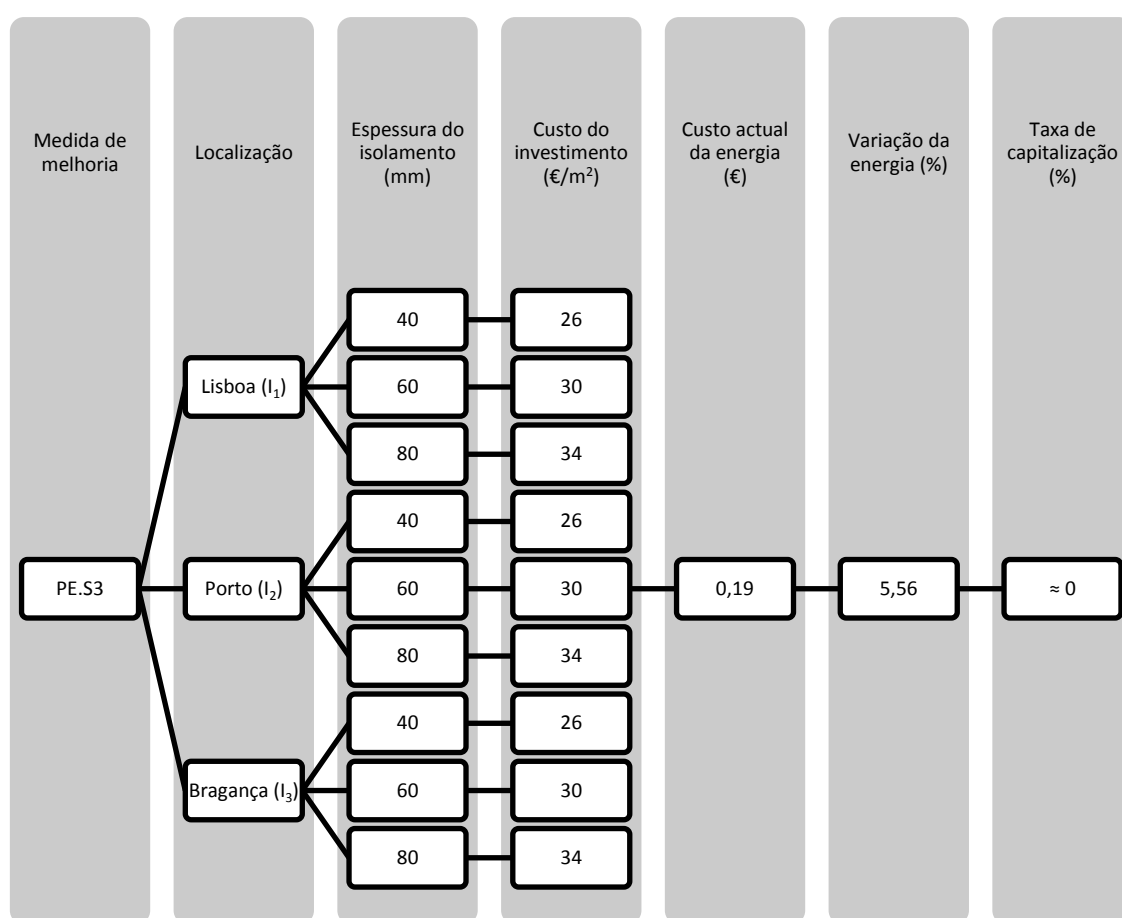


Figura 5.13 - Dados da solução PE.S3.

Após obtenção de todos os parâmetros necessários ir-se-á proceder à análise económica da solução em questão, tal é demonstrado nas figuras e tabelas seguintes.

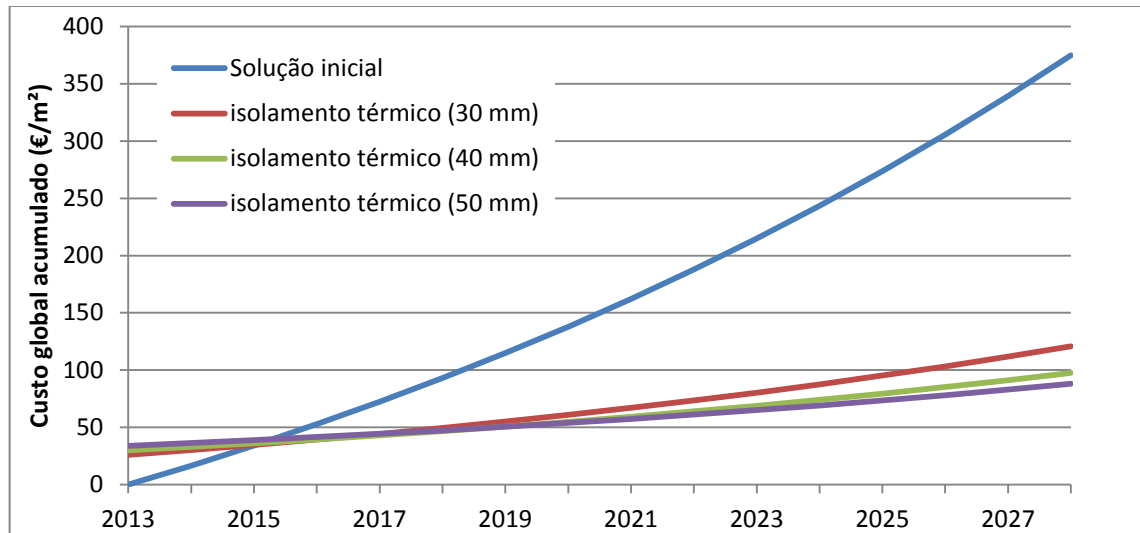


Figura 5.14 - Avaliação económica da solução PE.S3, para Lisboa (I1).

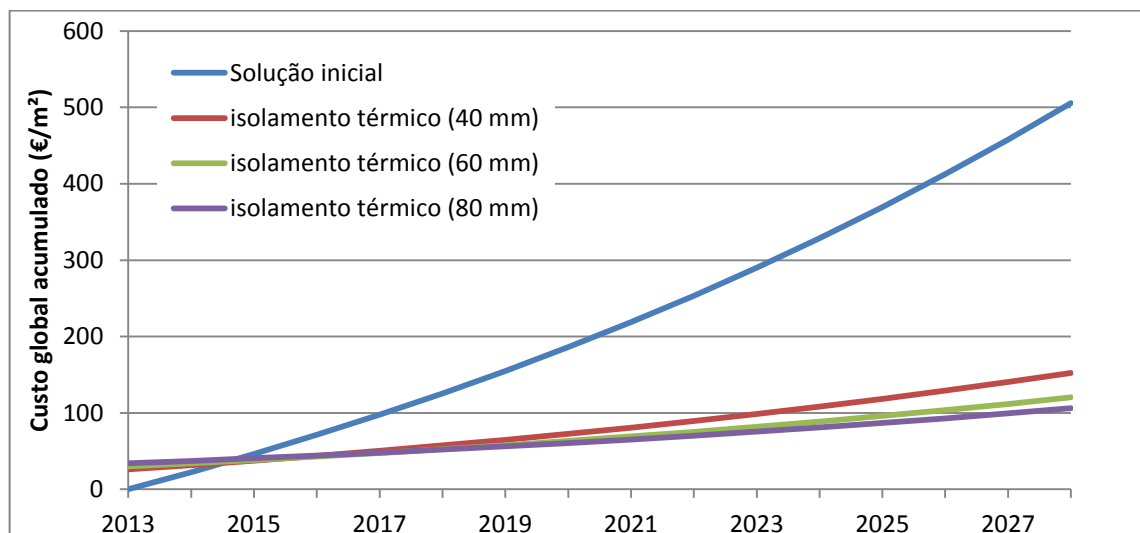


Figura 5.15 - Avaliação económica da solução PE.S3, para Porto (I2).

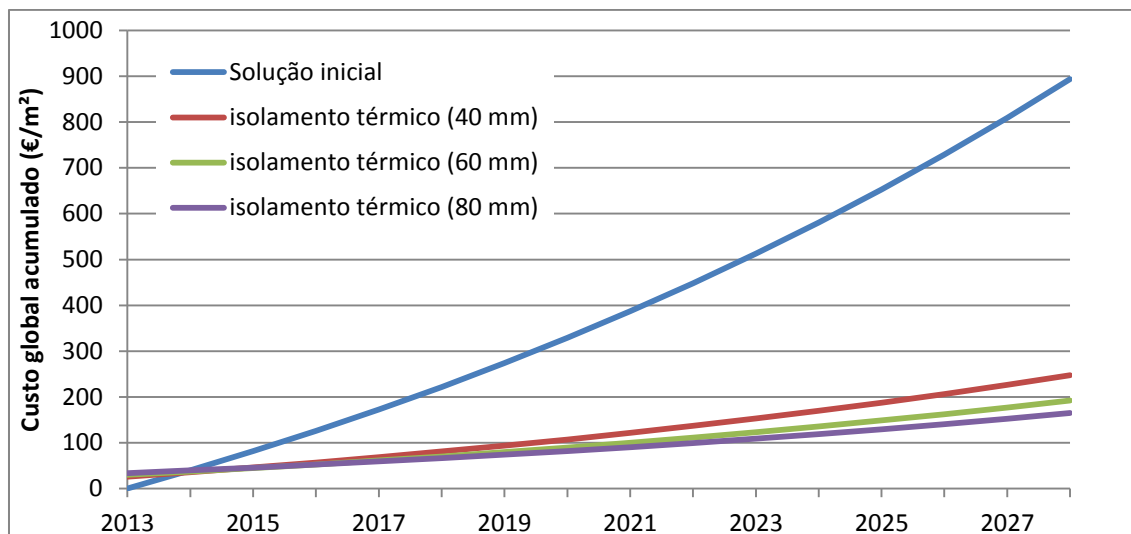


Figura 5.16 - Avaliação económica da solução PE.S3, para Bragança (I3).

Tabela 5.17 - Valores da análise económica da solução PE.S3, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S3	40	0,72	N0	11,78	26	3	40	126	239
	60	0,53	N1	12,92	30	3	42	137	261
	80	0,42	N3	13,49	34	3	41	140	270

Tabela 5.18 - Valores da análise económica da solução PE.S3, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S3	40	0,72	N0	15,96	26	2	63	180	333
	60	0,53	N1	17,48	30	2	68	196	363
	80	0,42	N2	18,24	34	2	68	202	377

Tabela 5.19 - Valores da análise económica da solução PE.S3, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S3	40	0,72	N0	28,31	26	1	132	340	611
	60	0,53	N0	30,78	30	1	142	367	663
	80	0,42	N1	32,11	34	2	145	381	689

A solução de isolamento térmico pelo interior associado a um revestimento leve pelo interior apresenta períodos de retorno de 3 anos para Lisboa (I1), de 2 anos para o Porto (I2) e variando de 1 a 2 anos, consoante a espessura do isolamento, para Bragança (I3). Os resultados de qualidade da solução são semelhantes ao da solução de ETICS, apresentando resultados mais vantajosos para a região I1 (Lisboa) comparando com as restantes regiões.

- Por último, a solução de isolamento térmico pelo interior PE.S4 - Associado a uma forra pesada (alvenaria de tijolo, elemento pré-fabricado de betão etc.) em que, seguidamente se apresentam os dados a serem introduzidos para a executar análise no OPTITERM - LFC.

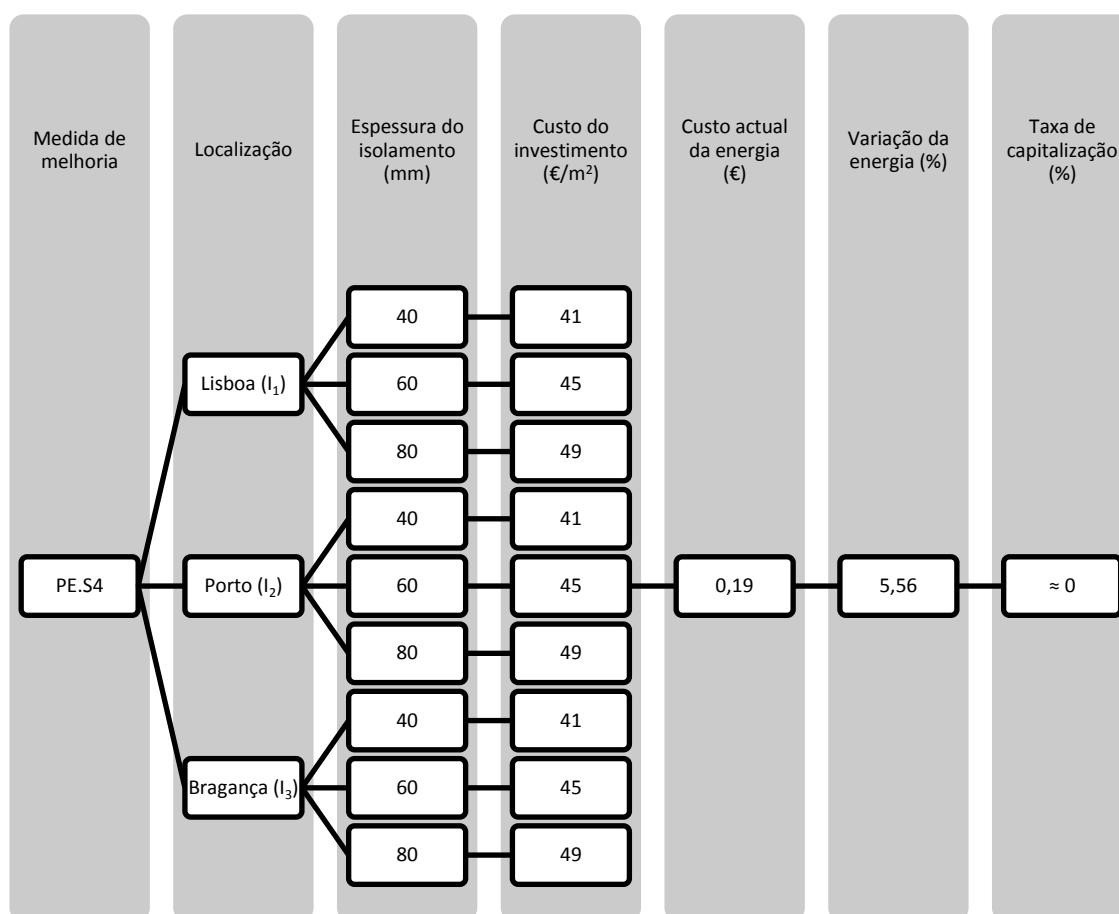


Figura 5.17 - Dados da solução PE.S4.

Depois de se obterem os dados necessários, procede-se com as figuras e tabelas seguintes, que resultam do estudo efetuado para esta solução.

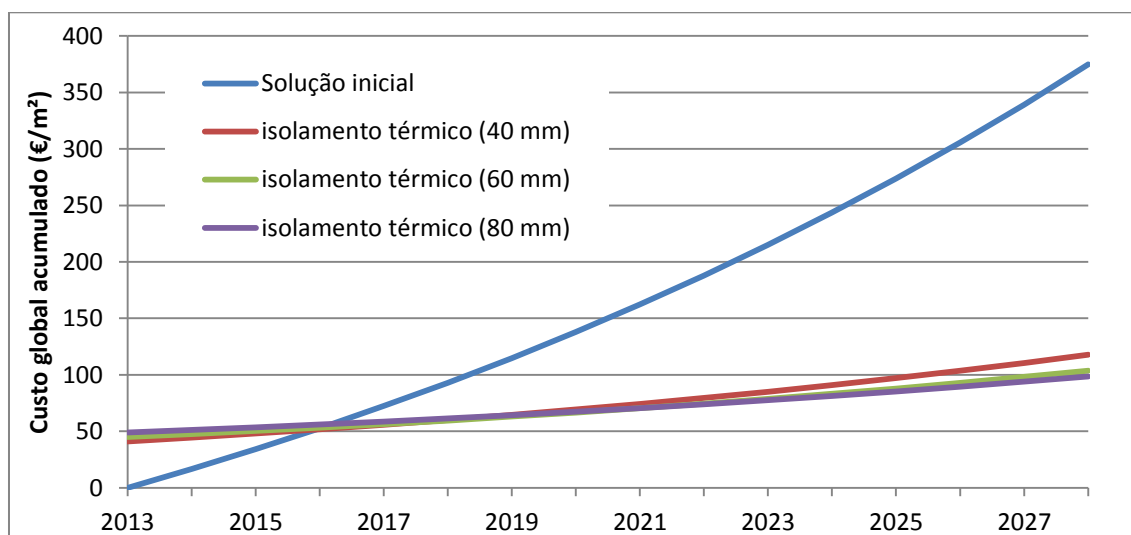


Figura 5.18 - Avaliação económica da solução PE.S4 para Lisboa (I1).

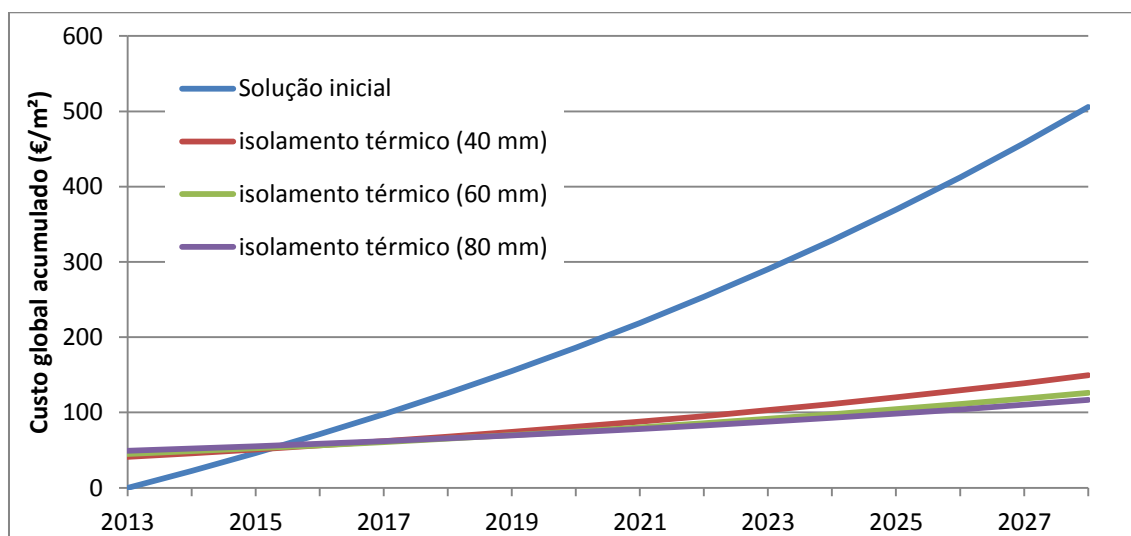


Figura 5.19 - Avaliação económica da solução PE.S4 para Porto (I2).



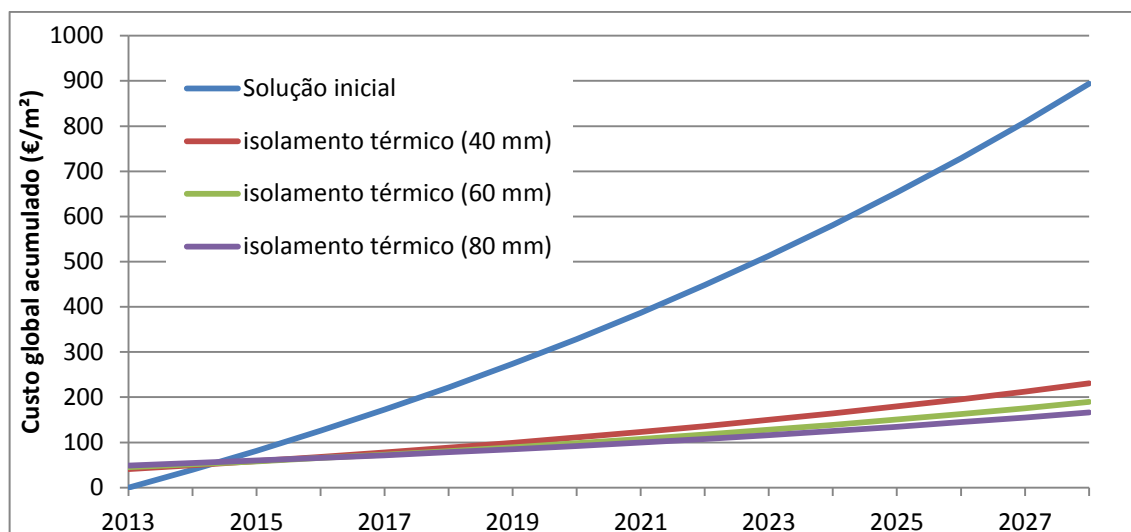


Figura 5.20 - Avaliação económica da solução PE.S4 para Bragança (I3).

Tabela 5.20 - Valores da análise económica da solução PE.S4, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S4	40	0,61	N1	12,54	41	4	29	121	241
	60	0,47	N2	13,30	45	4	29	127	254
	80	0,38	N3	13,68	49	4	27	128	259

Tabela 5.21 - Valores da análise económica da solução PE.S4, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S4	40	0,61	N0	16,72	41	3	52	175	335
	60	0,47	N1	17,86	45	3	55	186	357
	80	0,38	N2	18,43	49	3	54	189	366

Tabela 5.22 - Valores da análise económica da solução PE.S4, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
PE.S4	40	0,61	N0	29,64	41	2	125	342	626
	60	0,47	N1	31,54	45	2	131	362	665
	80	0,38	N1	32,68	49	2	134	373	687

Os resultados desta solução de isolamento pelo interior associado a uma forra pesada apresentam períodos de retorno do investimento de 4 anos para Lisboa (I1), de 3 anos para o Porto (I2) e de 2 anos para Bragança (I3). Também, são notórias as diferenças tanto económicas, como de níveis de qualidade que cada região climática obtém com esta solução energética.

Depois de expostos todos os resultados das soluções de melhoria da eficiência energética para as paredes exteriores nas várias regiões climáticas de Inverno, apresenta-se na tabela seguinte um quadro que resume alguns dos resultados mais relevantes da análise.

Tabela 5.23 - Resumo dos resultados das soluções de melhoria energética de paredes exteriores, nas zonas climáticas de Inverno.

Região			Lisboa (I1)			Porto (I2)			Bragança (I3)		
Espessura do isolamento [mm]			40	60	80	40	60	80	40	60	80
PE.S1	Nível de qualidade		N0	N1	N3	N0	N1	N2	N0	N0	N1
	Período de retorno [anos]		4	4	4	3	3	3	2	2	2
	Benefício efetivo [€/m²]	5 anos	26	28	27	48	53	54	116	127	131
		10 anos	112	123	126	164	179	188	321	351	367
		15 anos	225	247	256	315	345	363	589	645	675
PE.S2	Nível de qualidade		N0	N1	N2	N0	N1	N1	N0	N0	N1
	Período de retorno [anos]		8	7	7	6	6	6	4	4	4
	Benefício efetivo [€/m²]	5 anos	-	-	-	-	-	-	59	68	72
		10 anos	54	62	68	108	121	127	262	288	303
		15 anos	165	182	195	259	285	298	528	576	606
PE.S3	Nível de qualidade		N0	N1	N3	N0	N1	N2	N0	N0	N1
	Período de retorno [anos]		3	3	3	2	2	2	1	1	2
	Benefício efetivo [€/m²]	5 anos	40	42	41	63	68	68	132	142	145
		10 anos	126	137	140	180	196	202	340	367	381
		15 anos	239	261	270	333	363	377	611	663	689
PE.S4	Nível de qualidade		N1	N2	N3	N0	N1	N2	N0	N1	N1
	Período de retorno [anos]		4	4	4	3	3	3	2	2	2
	Benefício efetivo [€/m²]	5 anos	29	29	27	52	55	54	125	131	134
		10 anos	121	127	128	175	186	189	342	362	373
		15 anos	241	254	259	335	357	366	626	665	687

Perante os resultados obtidos no estudo feito para as paredes exteriores pode concluir-se que a solução PE.S2 de sistema de isolamento térmico pelo exterior em fachada ventilada é a solução menos vantajosa, pois para ambas as soluções obteve períodos de retorno maiores, tendo um custo de

investimento maior e níveis de qualidade mais baixos, logo apenas obtém algum benefício económico efetivo em períodos mais alargados comparativamente às restantes soluções. Esta solução acarreta do mesmo modo vantagens relativamente à solução inicial sendo que, mais evidentes para a região I3 do que para as regiões I1 e I2.

Fazendo uma comparação das soluções PE.S1, de sistema de isolamento térmico pelo exterior com sistema ETICS, e PE.S3, de sistema de isolamento térmico pelo interior com revestimento interior leve, pode observar-se que, relativamente, aos níveis de qualidade alcançados são equiparáveis entre as mesmas regiões climáticas de Inverno. Agora, comparando em termos de períodos de retorno e de benefício económico efetivo, conclui-se que a solução de isolamento térmico pelo interior adquire maiores vantagens, isto porque, em primeiro lugar, é uma solução com custos mais baixos de investimento, logo com benefícios efetivos mais altos e períodos de retorno do investimento menores, em segundo lugar, é uma solução de maiores benefícios em obras de reabilitação de edifícios antigos quando se pretende a conservação de toda a fachada exterior, pois desta forma toda a parte arquitetónica exterior é preservada. A solução de colocação de isolamento pelo interior tem a grande desvantagem de diminuir a área útil no interior do edifício.

A solução PE.S4, de sistema de isolamento térmico pelo interior com revestimento de forra pesada, é uma solução também com benefícios em termos de melhoria da eficiência energética, com períodos de retorno relativamente baixos, mas com o grande inconveniente de diminuição da área útil interior do edifício.

Comparando as soluções entre as regiões climáticas de Inverno é evidente que para a zona climática I3 (Bragança), com Invernos mais severos e rigorosos, os resultados acarretam benefícios efetivos muito maiores, bem como períodos de retorno muito menores. Segue-se a região I2 (Porto), com um clima mais ameno, e de seguida a região I1 (Lisboa), com um clima menos rigoroso entre as outras duas regiões. É importante salientar que este estudo só é válido para um período de aquecimento de 24 horas, sendo que se as horas de aquecimento forem menores ou nulas os gastos energéticos diminuem e os resultados serão diferentes.

#### 5.4.2. COBERTURAS

Analisando as coberturas utilizou-se a solução apresentada na Tabela 5.24 como solução inicial, com nível de qualidade N0 para todas as localidades estudadas.

Tabela 5.24 - Características da solução de cobertura inicial.

<b>C</b>	<b>Coefficiente de transmissão térmica [W/(m<sup>2</sup>.°C)]</b>	<b>Nível de Qualidade</b>
Coberturas inclinadas leves	3,8	N0

As coberturas em edifícios antigos, na sua grande maioria, não possuíam isolamento térmico na sua constituição. Posto isto, com vista a melhorar o comportamento térmico e a diminuir os gastos energéticos do edifício existem duas alternativas para colocação do isolamento térmico em falta, sendo que está inteiramente dependente do facto do desvão inclinado dar lugar a um espaço útil ou somente a

espaço de ventilação. Ora, o isolamento térmico pode ser colocado na laje de esteira (teto) ou sobre a estrutura resistente. Tais soluções estão apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 5.25 - Soluções de reabilitação energética de coberturas.

Soluções	
<b>C.S1</b>	Aplicação de isolamento térmico sobre a laje esteira (teto) - desvão não ocupado
<b>C.S2</b>	Aplicação de isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente - desvão ocupado

Após a determinação dos coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) das duas soluções enunciadas anteriormente e variando a espessura dos isolamentos térmicos aplicados, chega-se à tabela seguinte. O isolamento aqui abordado tem como coeficiente de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) o valor de 0,04 W/m.°C.

Tabela 5.26 - Coeficientes de transmissão térmica da cobertura, consoante a espessura do isolamento térmico aplicado nas várias soluções.

C.S1		C.S2	
Espessura (mm)	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	Espessura (mm)	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> .°C]
40	0,65	40	0,89
60	0,49	60	0,67
80	0,39	80	0,54
100	0,33	100	0,46

- Para a solução de C.S1- Aplicação de isolamento térmico sobre a laje de esteira (teto), ou seja no caso de desvão não ocupado considerou-se os seguintes custos de investimento para as várias espessuras de isolamento, bem como se apresentam outros dados necessários para introdução no programa OPTITERM - LFC que é usado para a análise.

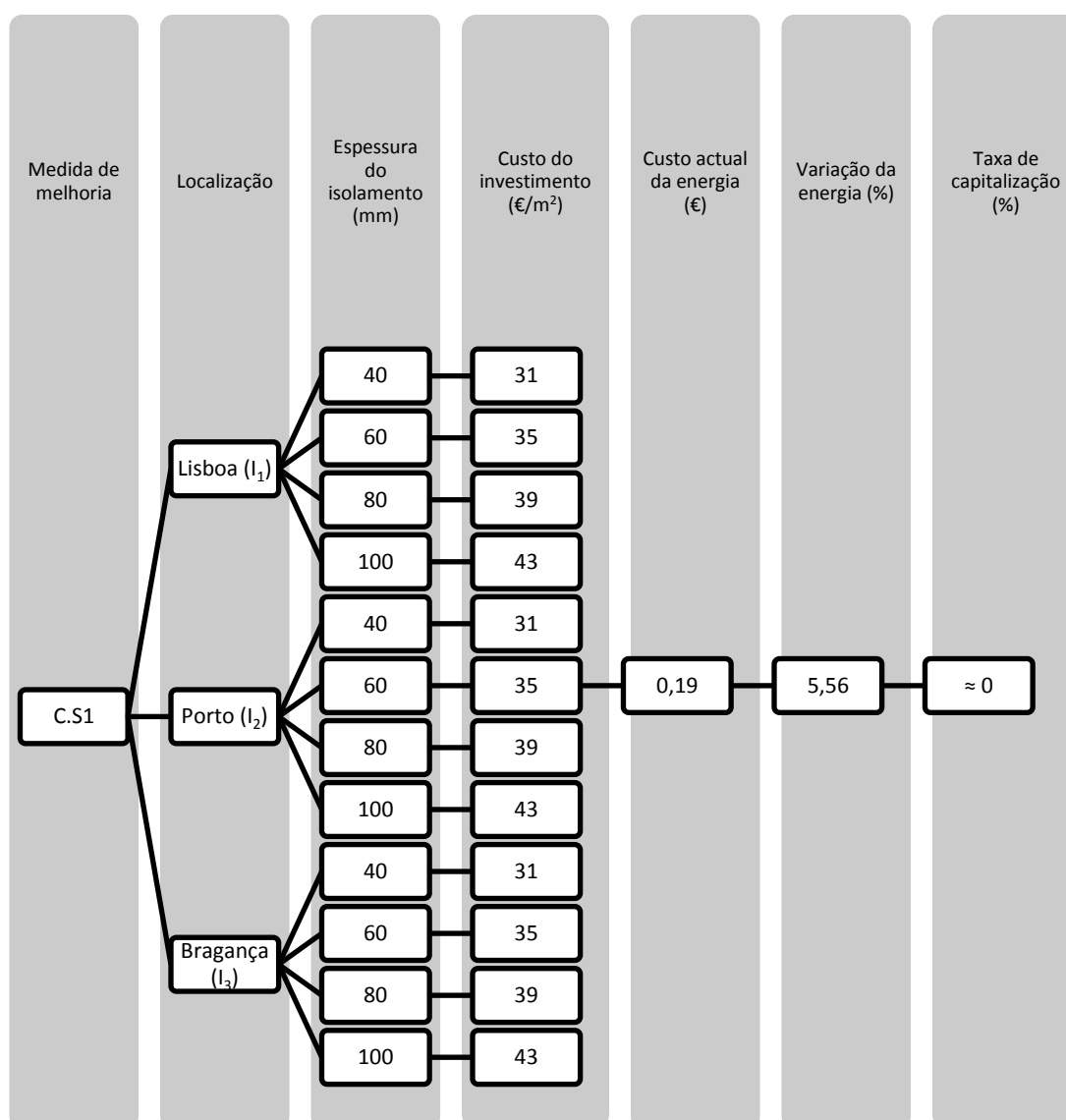


Figura 5.21 - Dados da solução C.S1.

Após a apresentação dos parâmetros necessários, analisam-se os resultados económicos obtidos, através das figuras e tabelas seguintes.

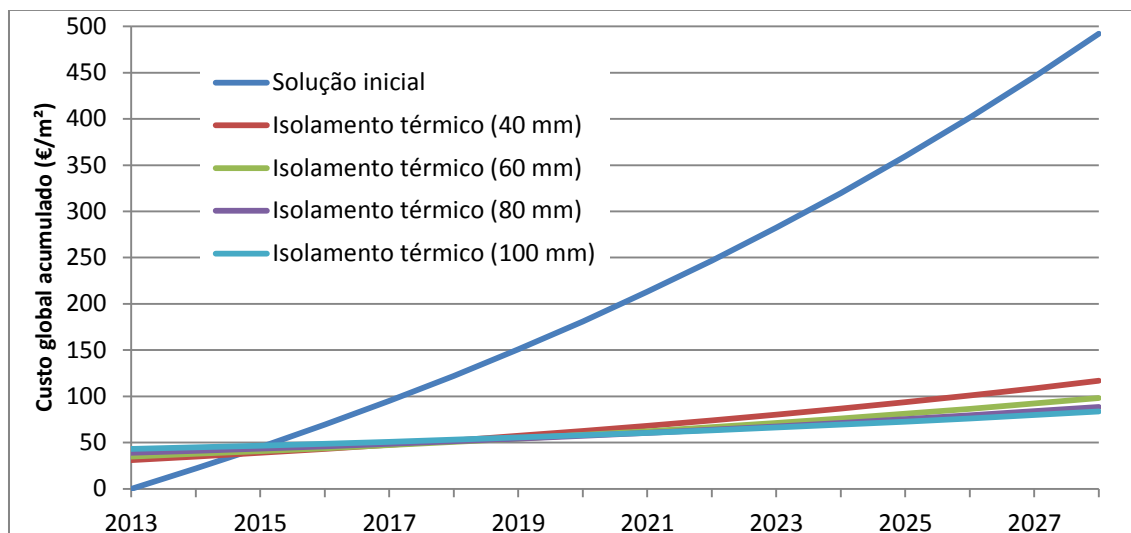


Figura 5.22 - Avaliação económica da solução C.S1 para Lisboa (I1).

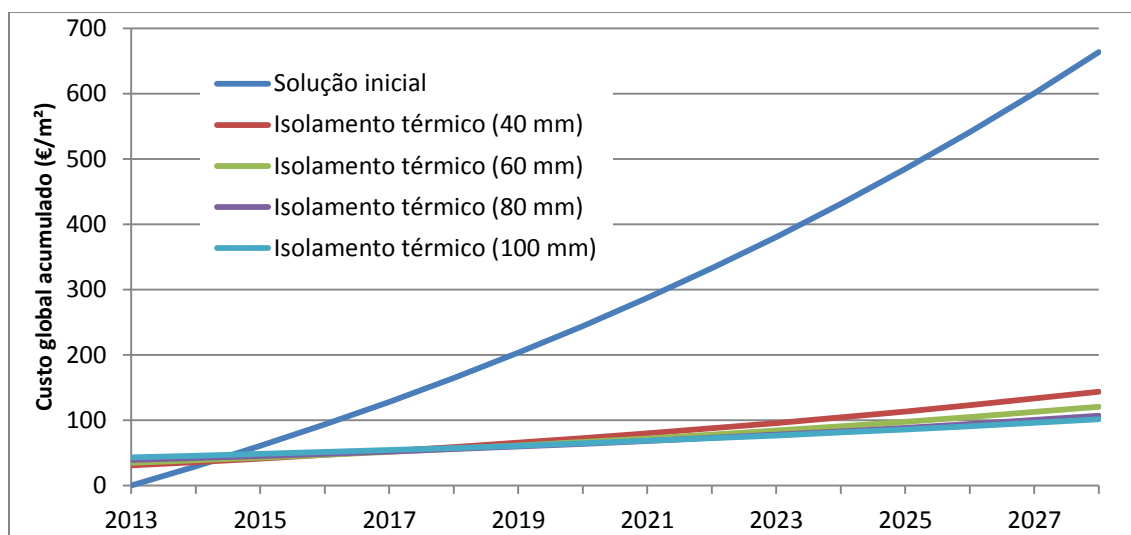


Figura 5.23 - Avaliação económica da solução C.S1 para Porto (I2).

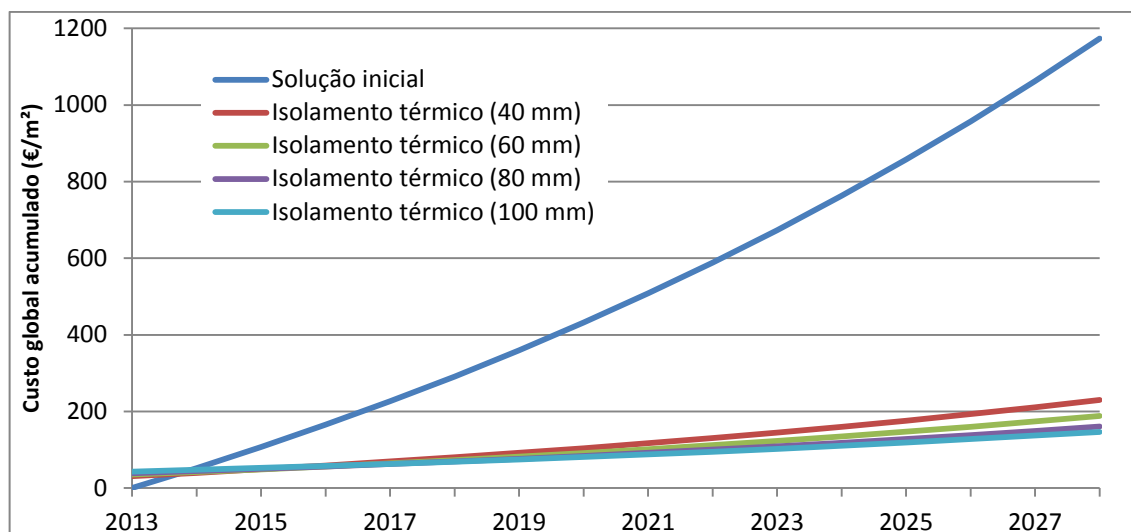


Figura 5.24 - Avaliação económica da solução C.S1 para Bragança (I3).

Tabela 5.27 - Valores da análise económica da solução C.S1, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
C.S1	40	0,65	N0	17,10	31	2	65	190	354
	60	0,49	N1	18,05	35	2	66	198	371
	80	0,39	N1	18,62	39	3	65	201	380
	100	0,33	N2	19,00	43	3	63	202	385

Tabela 5.28 - Valores da análise económica da solução C.S1, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
C.S1	40	0,65	N0	23,18	31	2	99	268	491
	60	0,49	N0	24,32	35	2	101	279	512
	80	0,39	N1	25,08	39	2	101	285	526
	100	0,33	N2	25,46	43	2	99	286	530

Tabela 5.29 - Valores da análise económica da solução C.S1, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
C.S1	40	0,65	N0	41,04	31	1	198	499	893
	60	0,49	N0	42,94	35	1	205	519	932
	80	0,39	N1	44,27	39	1	208	533	958
	100	0,33	N2	45,03	43	1	209	538	971

Esta solução de aplicação de isolamento térmico na laje de esteira (teto) tem períodos de retorno para as diferentes espessuras de isolamento térmico baixos, entre 3 e 2 anos para a região I1 (Lisboa), de 2 anos para a região I2 (Porto) e de 1 ano para a região I3 (Bragança), sendo que são sempre menores em zonas de clima menos severo. Os benefícios efetivos em termos económicos são bastante elevados principalmente para a região de Bragança (I3).

- Relativamente à solução C.S2 - Aplicação de isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente na situação do desvão ser ocupado, considerou-se os valores dos custos de reabilitação para as diversas espessuras de isolamento, sendo apresentados em seguida os parâmetros necessários para a análise feita no programa OPTITERM - LFC.



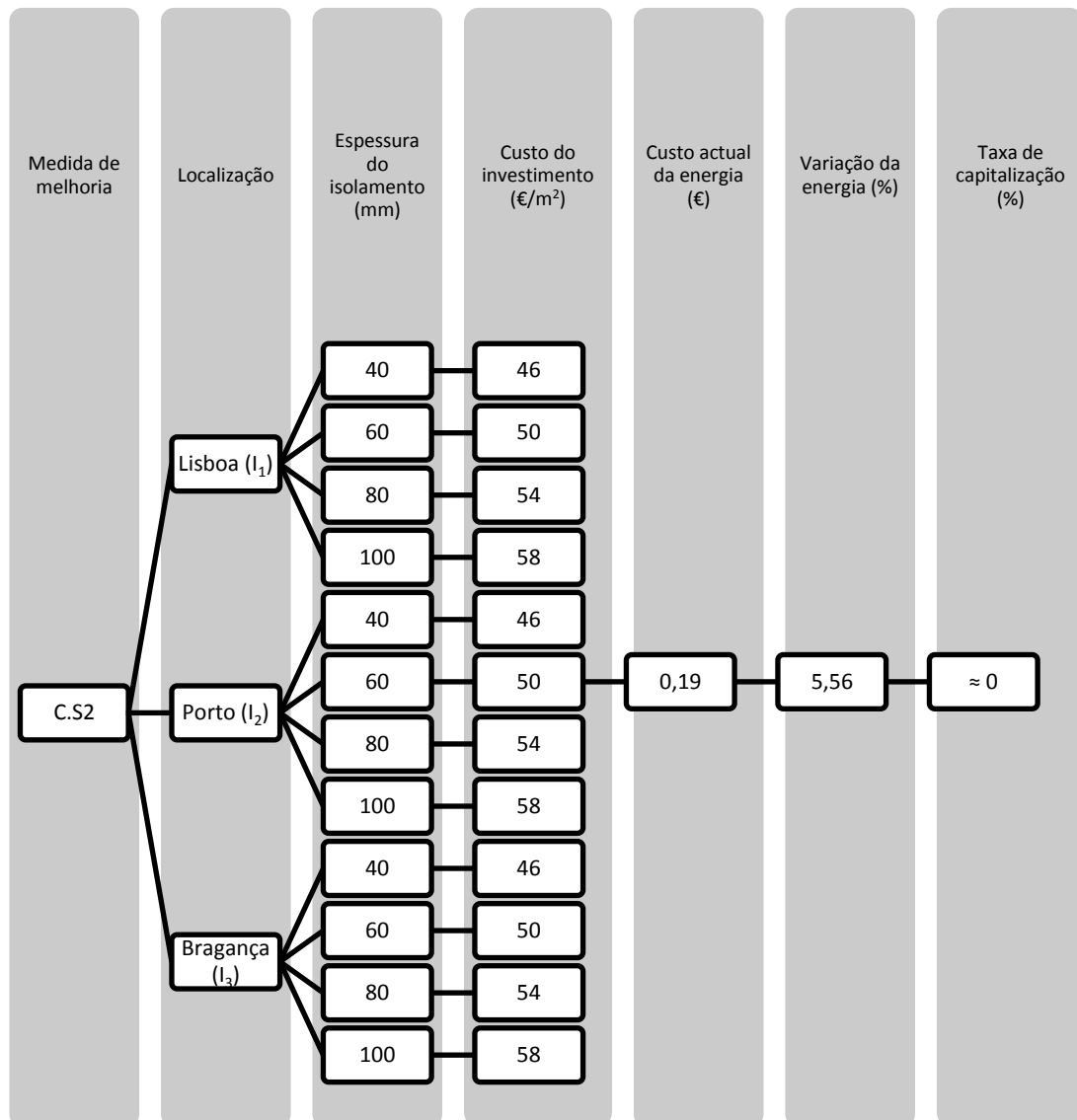


Figura 5.25 - Dados da solução C.S2.

Após obtenção de todos os parâmetros necessários ir-se-á proceder à análise económica da solução em questão, tal é demonstrado nas figuras e tabelas seguintes.

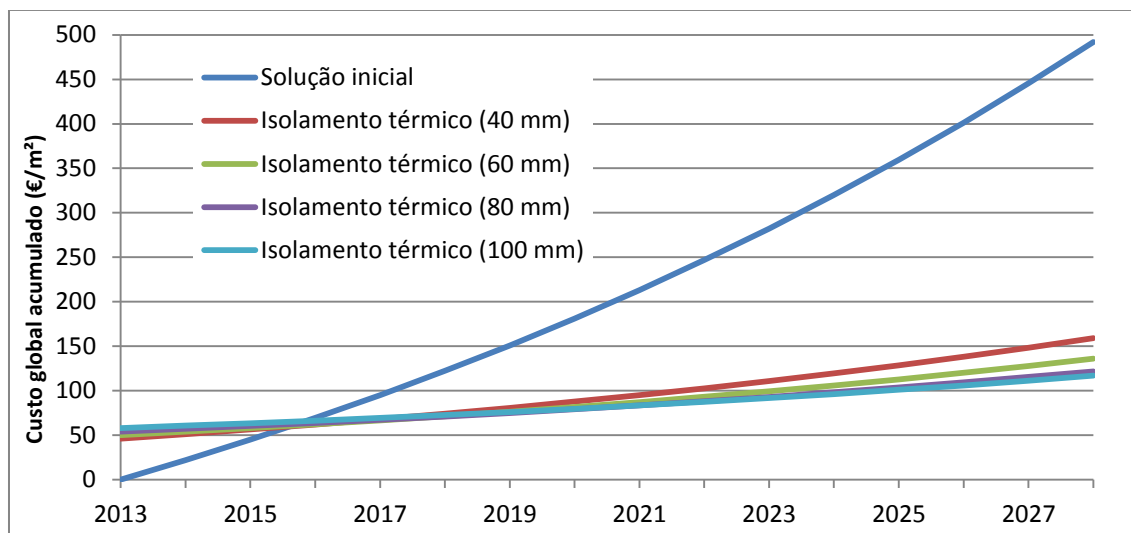


Figura 5.26 - Avaliação económica da solução C.S2 para Lisboa (I1).

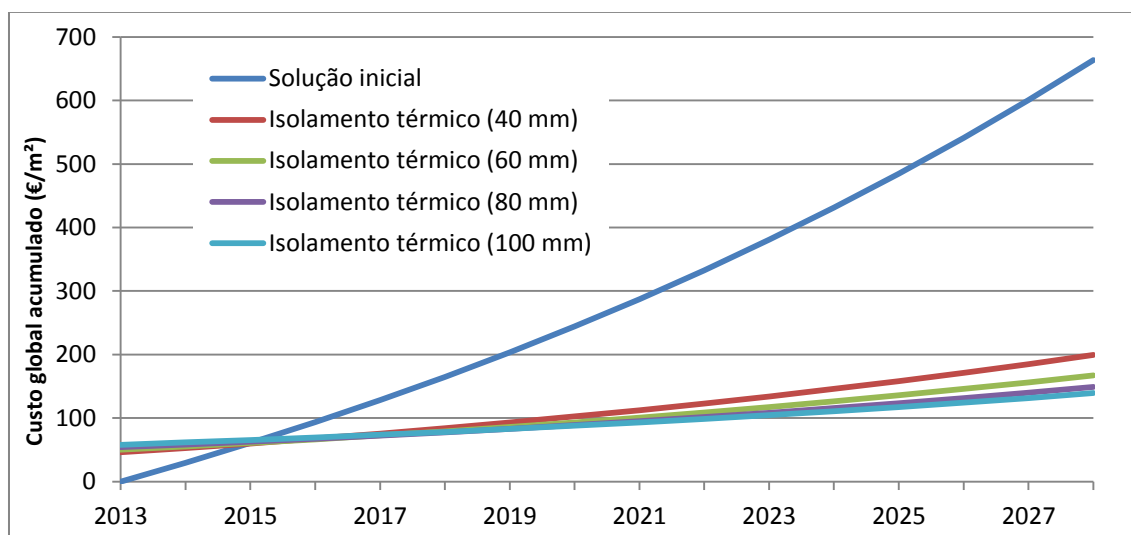


Figura 5.27 - Avaliação económica da solução C.S2 para Porto (I2).

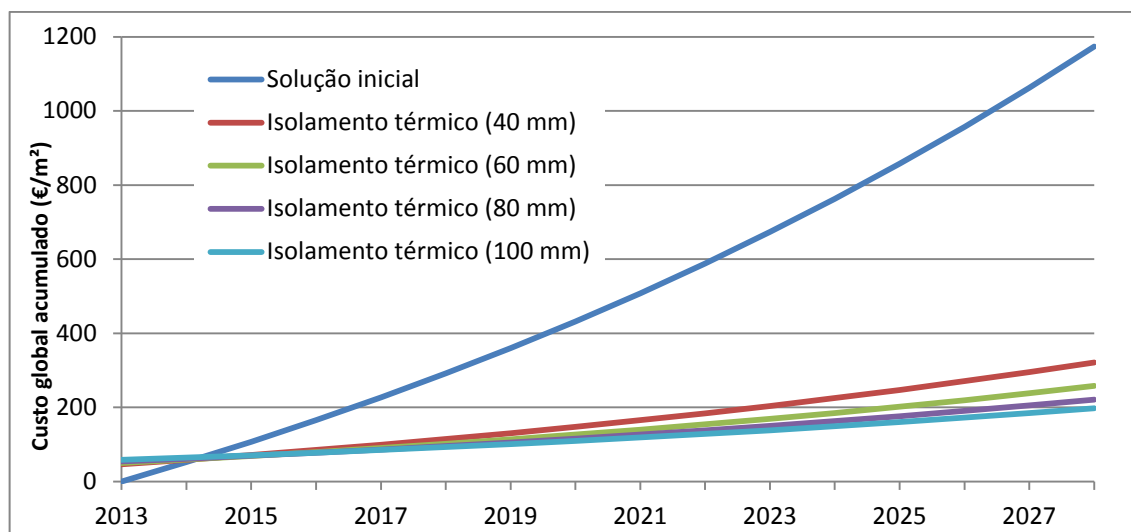


Figura 5.28 - Avaliação económica da solução C.S2 para Bragança (I3).

Tabela 5.30- Valores da análise económica da solução C.S2, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
C.S2	40	0,89	N0	15,96	46	3	43	160	313
	60	0,67	N0	17,10	50	3	46	171	335
	80	0,54	N0	17,86	54	3	46	177	348
	100	0,46	N1	18,24	58	4	44	178	353

Tabela 5.31 - Valores da análise económica da solução C.S2, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
C.S2	40	0,89	N0	21,47	46	3	74	231	437
	60	0,67	N0	22,99	50	3	78	247	468
	80	0,54	N0	23,94	54	3	80	255	485
	100	0,46	N0	24,51	58	3	79	258	494

Tabela 5.32 - Valores da análise económica da solução C.S2, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
	Espessura do isolamento (mm)	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
C.S2	40	0,89	N0	37,81	46	2	165	442	805
	60	0,67	N0	40,66	50	2	177	475	865
	80	0,54	N0	42,37	54	2	183	493	900
	100	0,46	N0	43,51	58	2	185	504	921

Esta solução de isolamento da cobertura nas vertentes sobre a estrutura resistente quando o desvão é ocupado possui um investimento maior que a solução anterior, considerando ainda que possua resultados de níveis de qualidade inferiores. Os períodos de retorno para esta solução são entre 3 a 4 anos para a região de Lisboa (I1), de 3 anos para o Porto (I2) e de 2 anos para Bragança (I3).

Após apresentação dos resultados do estudo para as soluções de melhoria da eficiência energética propostas para as coberturas para as regiões climáticas de Inverno, mostra-se de seguida um quadro que resume alguns dos parâmetros mais relevantes.

Tabela 5.33 - Resumo dos resultados das soluções de melhoria energética de coberturas, nas zonas climáticas de Inverno.

Região		Lisboa (I1)				Porto (I2)				Bragança (I3)				
Espessura do isolamento [mm]		40	60	80	100	40	60	80	100	40	60	80	100	
C.S1	Nível de qualidade	N0	N1	N1	N2	N0	N0	N1	N2	N0	N0	N1	N2	
	Período de retorno [anos]	2	2	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	
	Benefício efetivo [€/m²]	5 anos	65	66	65	63	99	101	101	99	198	205	208	209
		10 anos	190	198	201	202	268	279	285	286	499	519	533	538
		15 anos	354	371	380	385	491	512	526	530	893	932	958	971
C.S2	Nível de qualidade	N0	N0	N0	N1	N0	N0	N0	N0	N0	N0	N0	N0	
	Período de retorno [anos]	3	3	3	4	3	3	3	3	2	2	2	2	
	Benefício efetivo [€/m²]	5 anos	43	46	46	44	74	78	80	79	165	177	183	185
		10 anos	160	171	177	178	231	247	255	258	442	475	493	504
		15 anos	313	335	348	353	437	468	485	494	805	865	900	921

Através dos resultados apresentados das soluções propostas para as coberturas pode concluir-se que a solução C.S1, de aplicação de isolamento térmico sobre a laje de esteira (teto), em casos do desvão não ser ocupado, é a solução com maiores benefícios, comparativamente à solução C.S2, de aplicação do isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente na situação do desvão ser ocupado. Pode comprovar-se através das diferenças nos níveis de qualidade obtidos, para as mesmas espessuras

de isolamento térmico utilizado, pois a solução C.S2 para a região do I2 e I3 não passou do nível N0. Relativamente aos períodos de retorno, a solução C.S1 apresentou um número de anos bastante menor. O custo de investimento é maior para a solução de aplicação de isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente e, associado às suas maiores perdas energéticas registadas, leva a que o benefício económico associado seja menor, comparativamente à outra solução de aplicação de isolamento térmico sobre a laje de esteira.

Comparando os resultados entre as várias regiões climáticas são notórias as suas diferenças de clima, pois quanto mais rigoroso for o clima, menores serão os níveis de qualidade da solução estudada, pois as necessidades energéticas do edifício são maiores, menores serão os períodos de retorno e maiores serão os benefícios efetivos, considerando sempre neste caso, que o período de aquecimento corresponde a 24 horas diárias.

Ora, conjugando as duas soluções apresentadas e os resultados obtidos chegou-se à conclusão que, independentemente da região em que se encontra o edifício a solução mais vantajosa, tanto a nível económico, como energético é a solução de aplicação de isolamento térmico sobre a laje de esteira, nos casos em que o desvão não é ocupado.

#### 5.4.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Nos vãos envidraçados, utilizou-se as tipologias mais correntes encontradas nos edifícios antigos como soluções iniciais para o estudo. Na tabela seguinte, estão identificadas as características inerentes às soluções iniciais selecionadas, sendo que o “U” diz respeito ao coeficiente de transmissão térmica inicial de cada solução, cuja unidade é  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ . A proteção da caixilharia refere-se ao facto do vão envidraçado possuir ou não, uma proteção, exterior ou interior, em forma de estore ou portada, que fará com que o coeficiente de transmissão térmica se altere.

Tabela 5.34 - Características das soluções iniciais dos vãos envidraçados, para o Inverno.

	VE1 - Caixilharia de madeira				VE2 - Caixilharia metálica			
	S/ proteção		C/ proteção		S/ proteção		C/ proteção	
Localização	U	Nível de Qualidade	U	Nível de Qualidade	U	Nível de Qualidade	U	Nível de Qualidade
Lisboa (I1)		N1		N1		N0		N0
Porto (I2)	4,3	N0	3,7	N0	5	N0	4,3	N0
Bragança (I3)		N0		N0		N0		N0

Para um melhor comportamento térmico dos vãos envidraçados bem como, um maior desempenho energético e menores custos associados ao edifício ao longo do seu tempo de vida, existem diversas medidas a adotar, entre as quais serão analisadas as que se encontram na tabela seguinte.

É de extrema importância referir que, no caso da substituição do vidro simples por vidro duplo, na maioria das vezes essa solução não é exequível, visto que, a caixilharia existente não se encontra adaptada para tal alteração.

Tabela 5.35 - Soluções de reabilitação energética de vãos envidraçados.

Soluções	
<b>VE.S1</b>	Conservação de caixilharia existente substituindo o vidro simples por vidro duplo.
<b>VE.S2</b>	Introdução de uma segunda caixilharia interior.
<b>VE.S3</b>	Substituição da caixilharia existente por uma nova caixilharia.

Com a determinação dos coeficientes de transmissão térmica após a aplicação das soluções acima citadas, apresenta-se no quadro seguinte os valores para a solução inicial e após a implementação das soluções propostas.

Tabela 5.36 - Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados, antes e após a aplicação das várias soluções mencionadas.

	VE.S1				VE.S2				VE.S3			
	S/ proteção		C/ proteção		S/ proteção		C/ proteção		S/ proteção		C/ proteção	
	Ui	Uf	Ui	Uf	Ui	Uf	Ui	Uf	Ui	Uf	Ui	Uf
<b>VE1</b>	4,3	2,9	3,7	2,5	4,3	2,3	3,7	2	4,3	2,5	3,7	2,2
<b>VE2</b>	5	3,7	4,3	3	5	2,8	4,3	2,3	5	3,3	4,3	2,7

Após essa determinação apresenta-se e analisa-se o impacto económico que cada solução apresentada produz em cada uma das soluções iniciais enunciadas para as três zonas climáticas de Inverno distintas.

- Na solução original VE1 - Caixilharia de madeira, com ou sem proteção, obtiveram-se para as três soluções propostas os custos e outros parâmetros apresentados em seguida nas figuras Figura 5.29, Figura 5.30 e Figura 5.31 para a sua análise no OPTITERM - LFC. Salienta-se o facto, de que no custo de investimento associado às soluções com proteção está incluído o preço de colocação de estore ou persiana.

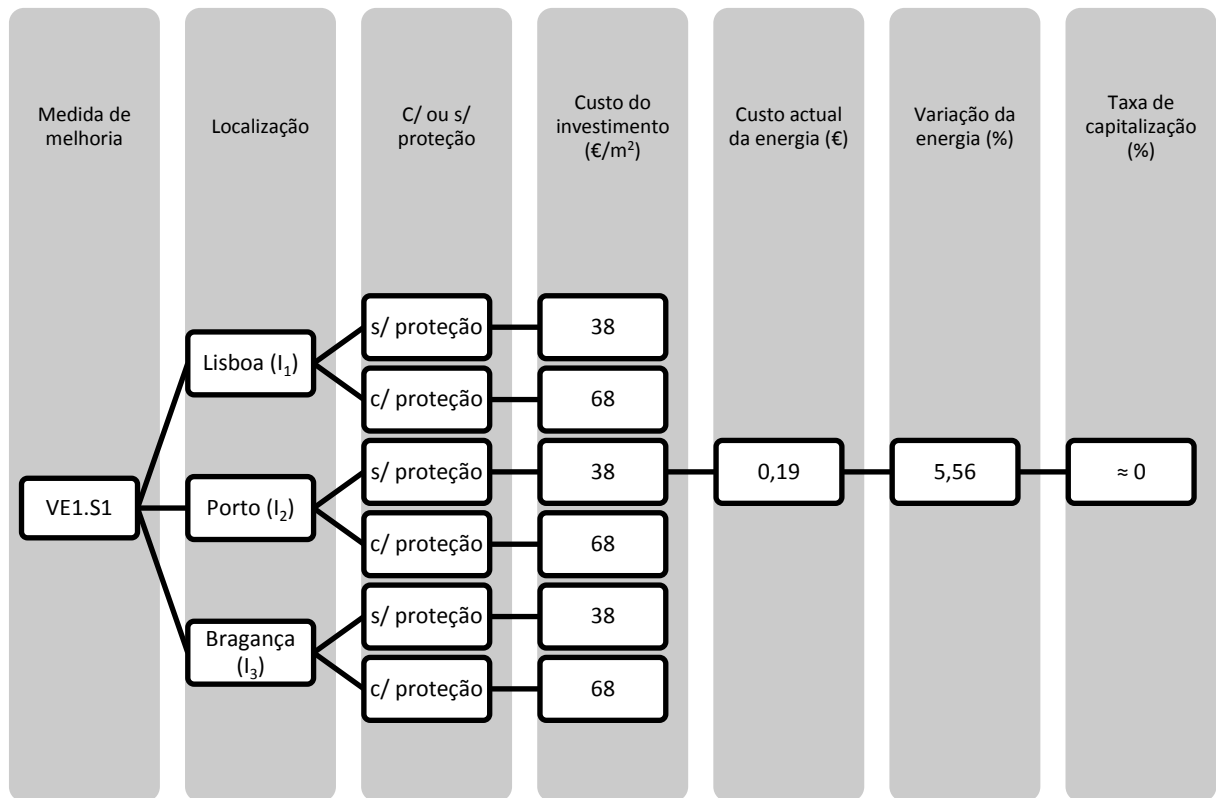


Figura 5.29 - Dados da solução VE1.S1, com ou sem proteção.

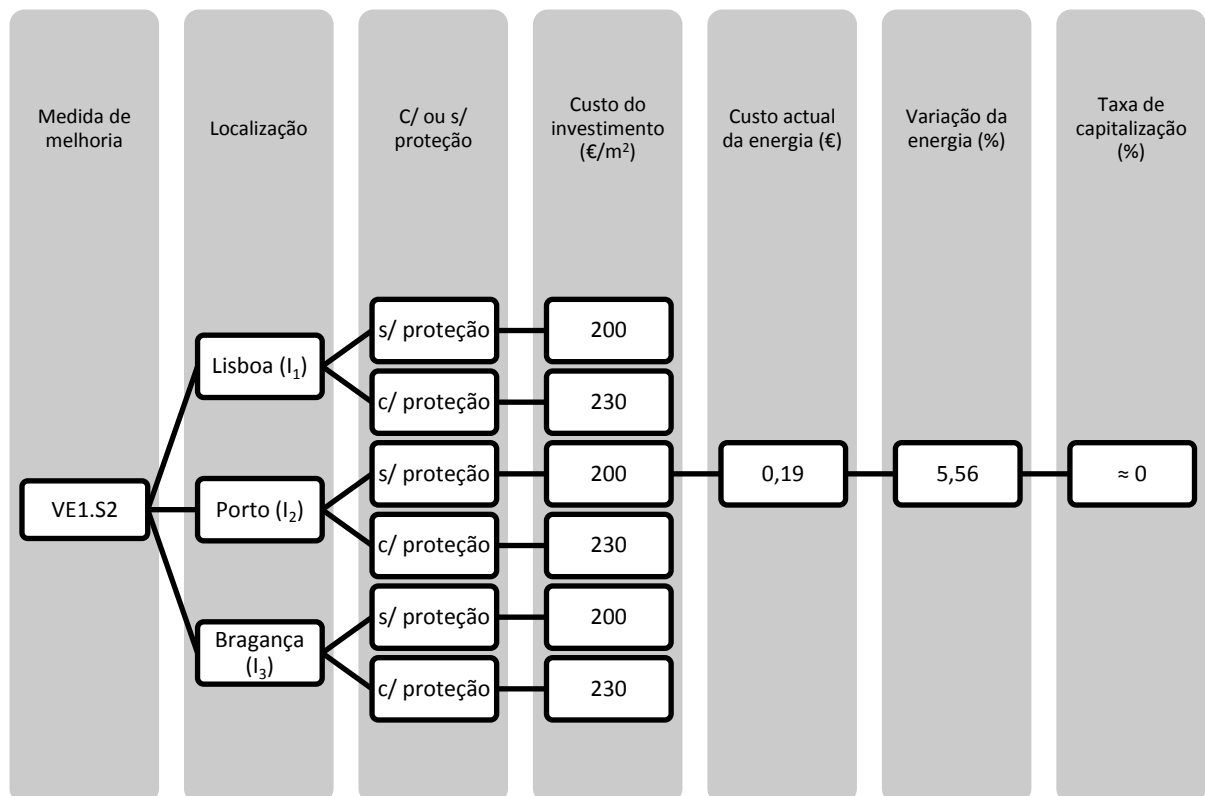


Figura 5.30 - Dados da solução VE1.S2, com ou sem proteção.

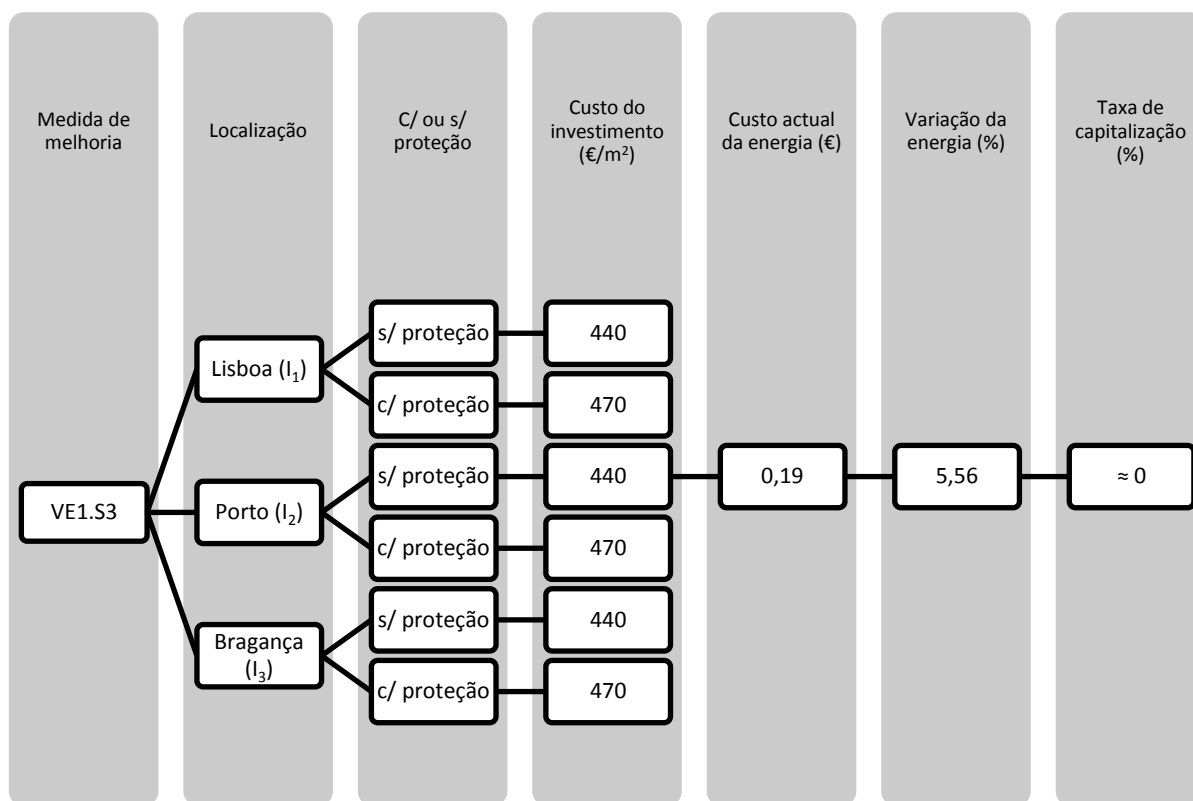
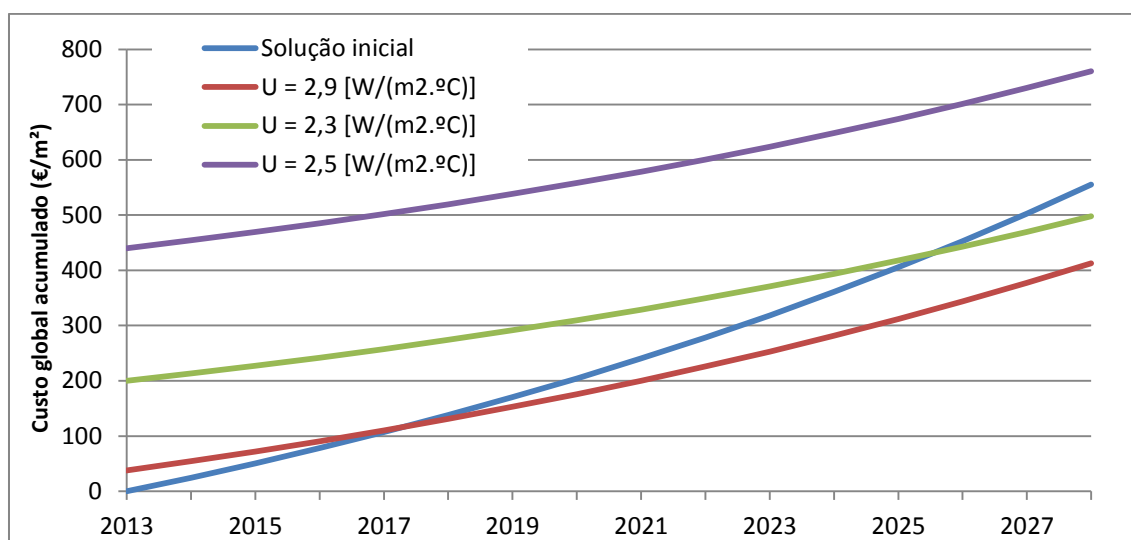


Figura 5.31 - Dados da solução VE1.S3, com ou sem proteção.

Figura 5.32 - Avaliação económica da solução inicial VE1, sem proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Lisboa (I<sub>1</sub>).



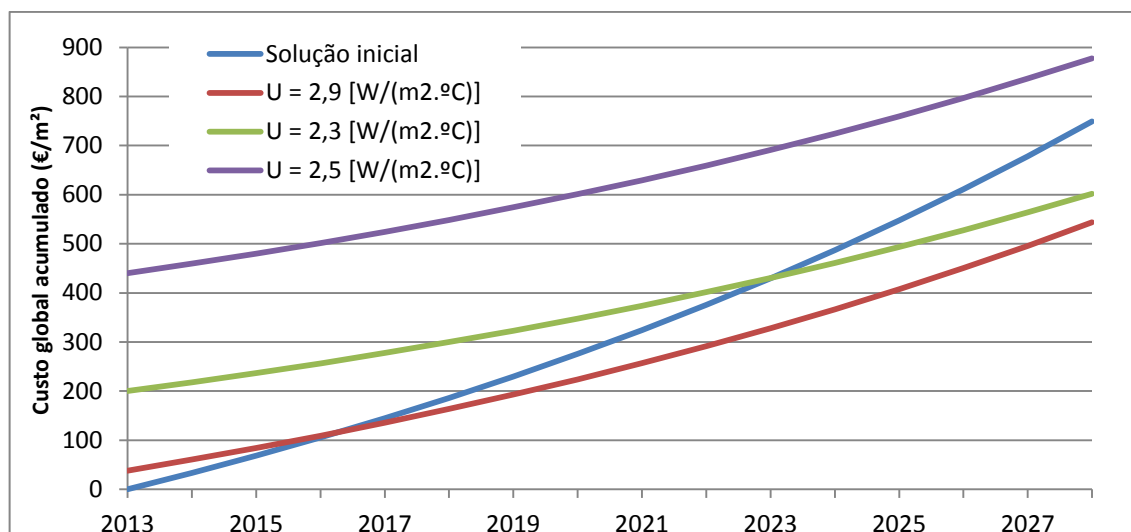


Figura 5.33 - Avaliação económica da solução inicial VE1, sem proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Porto (I2).

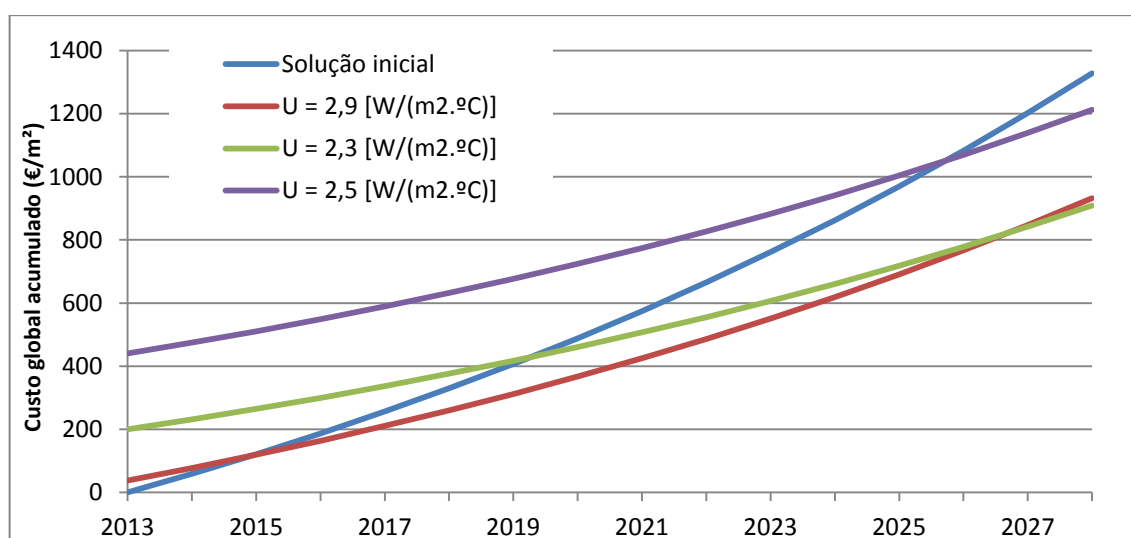


Figura 5.34 - Avaliação económica da solução inicial VE1, sem proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Bragança (I3).

Tabela 5.37 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, sem proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
VE1 s/proteção	S1	2,9	N2	7,60	38	5	4	60	133
	S2	2,3	N3	10,83	200	14	-	-	44
	S3	2,5	N3	9,88	440	24	-	-	-

Tabela 5.38 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, sem proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE1 s/proteção	S1	2,9	N1	10,26	38	4	19	94	193
	S2	2,3	N2	14,63	200	11	-	-	129
	S3	2,5	N1	13,11	440	20	-	-	-

Tabela 5.39 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, sem proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE1 s/proteção	S1	2,9	N1	18,24	38	3	64	198	373
	S2	2,3	N2	26,03	200	7	-	136	386
	S3	2,5	N1	23,37	440	14	-	-	86

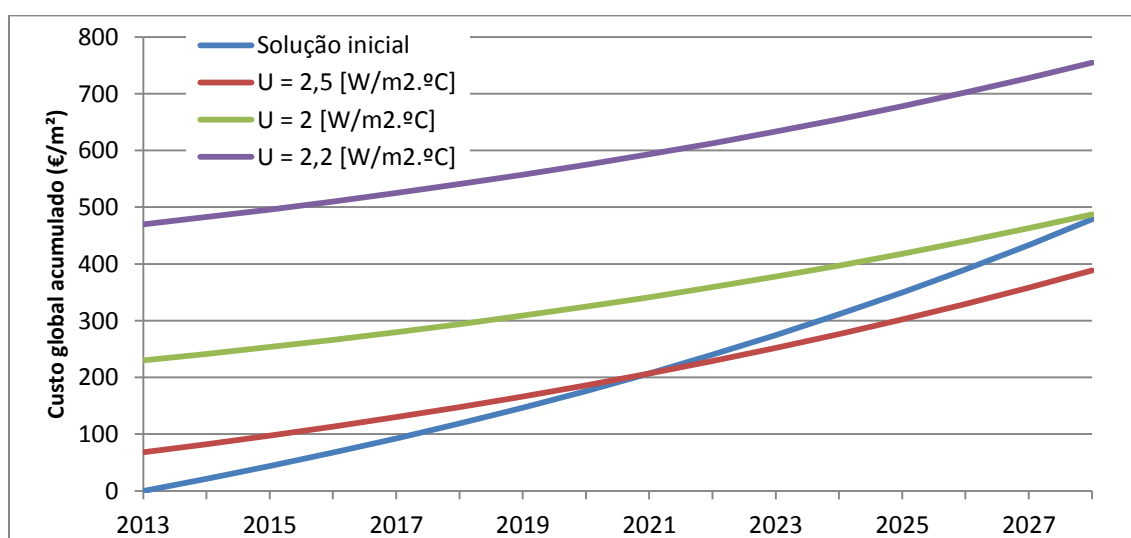


Figura 5.35 - Avaliação económica da solução inicial VE1, com proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Lisboa (I1).

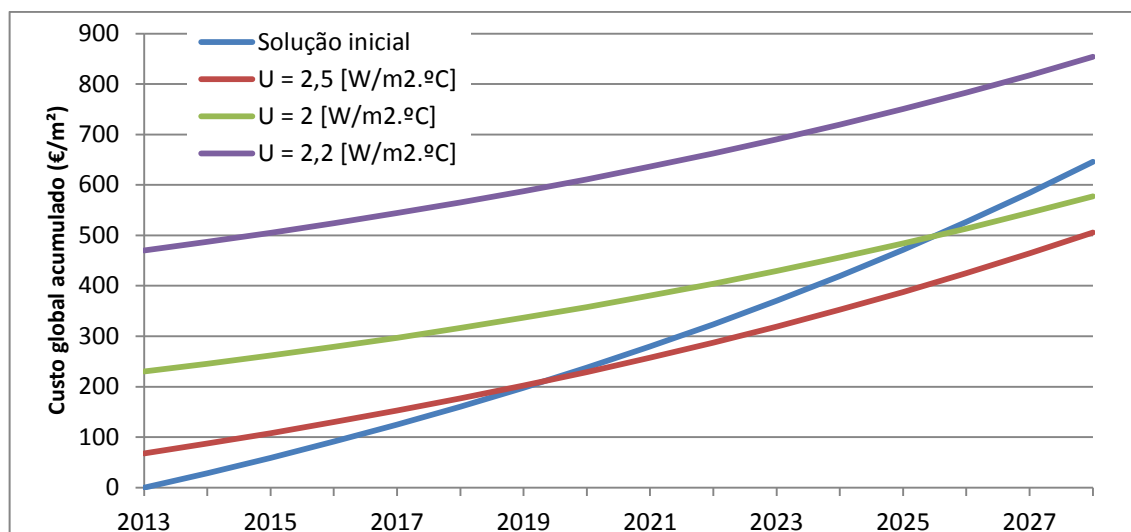


Figura 5.36 - Avaliação económica da solução inicial VE1, com proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Porto (I2).

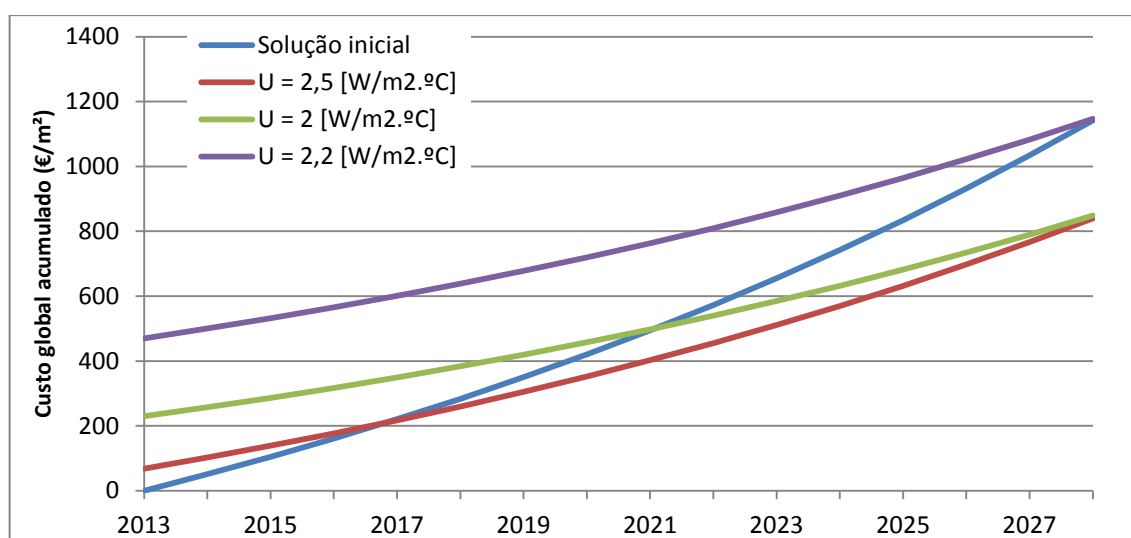


Figura 5.37 - Avaliação económica da solução inicial VE1, com proteção, e para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, para Bragança (I3).

Tabela 5.40 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, com proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
VE1 c/ proteção	S1	2,5	N3	6,65	68	9	-	18	82
	S2	2	N4	9,31	230	16	-	-	-
	S3	2,2	N3	8,17	470	27	-	-	-

Tabela 5.41 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, com proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE1 c/ proteção	S1	2,5	N1	8,74	68	7	-	45	129
	S2	2	N2	12,54	230	13	-	-	52
	S3	2,2	N2	11,02	470	23	-	-	-

Tabela 5.42 - Valores da análise económica da solução inicial VE1, com proteção, para as soluções VE1.S1, VE1.S2 e VE1.S3, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE1 c/ proteção	S1	2,5	N1	15,58	68	5	19	133	283
	S2	2	N2	22,04	230	9	-	55	266
	S3	2,2	N2	19,57	470	16	-	-	-

Analisando as várias soluções para a caixilharia de madeira podemos afirmar que a melhor solução seria fazer um aproveitamento da caixilharia existente e a colocação de vidro duplo em substituição do vidro simples (VE1.S1), sendo que é a solução com menor custo de investimento e com resultados razoáveis a níveis energéticos e de períodos de retorno, para todas as zonas em estudo, contudo esta solução raramente é possível de ser aplicada na prática, porque a caixilharia existente não se encontra preparada para a colocação do vidro duplo.

Relativamente às outras soluções, é plausível dizer-se que o seu custo de investimento, é muito elevado e apenas a zona climática I3 (Bragança) teria um benefício efetivo passado os 15 anos de estudo ou seja, em nenhuma outra zona o período de retorno seria menor que 15 anos. Esta observação do estudo é evidente para as soluções com e sem proteção, ainda assim a solução com proteção tem um melhor desempenho de qualidade, evidenciado pelos seus respetivos níveis de qualidade atribuídos. Apesar de tudo estas soluções têm resultados bastante positivos energeticamente, sendo que para um investimento a longo prazo, mais de 15 anos, poderá obter-se bastantes benefícios.

- Para a solução original VE2 - Caixilharia metálica, com ou sem proteção, foram obtidos os custos inerentes a cada solução, bem como, outros parâmetros necessários para a análise executada no programa OPTITERM - LFC. Esses dados serão apresentados nas figuras que se seguem.

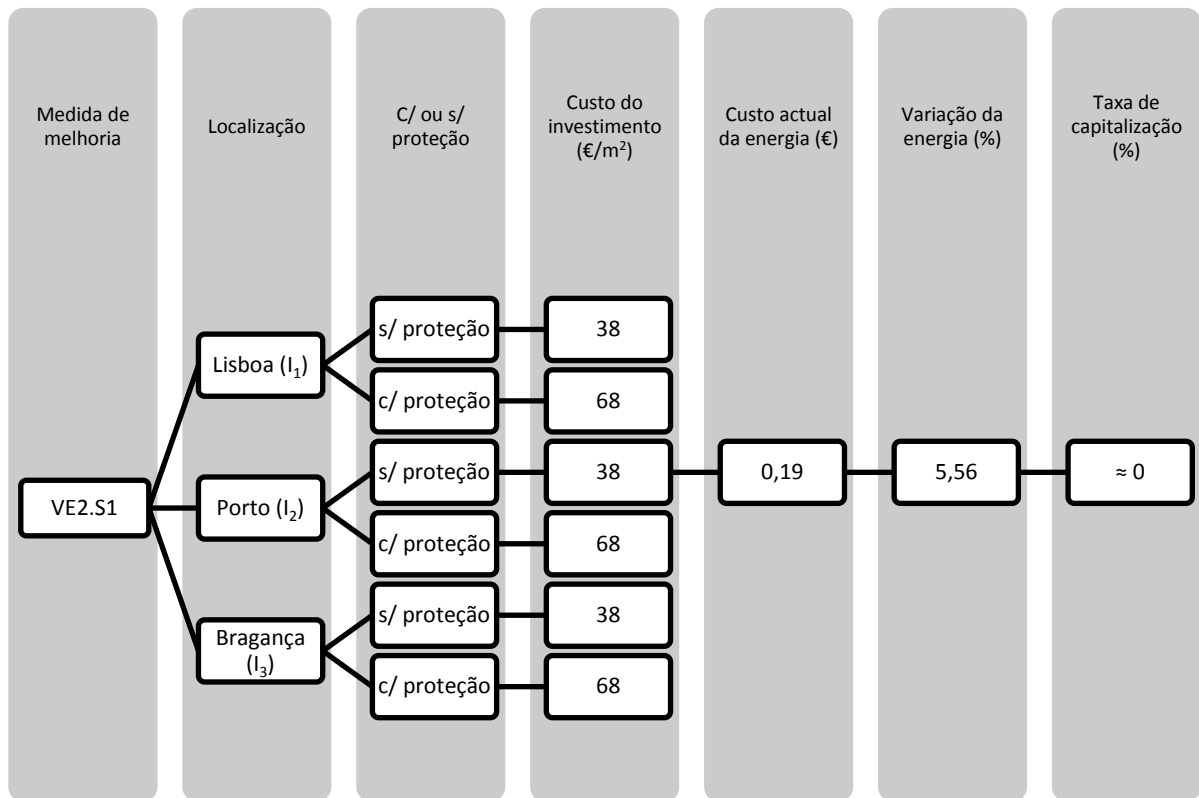


Figura 5.38 - Dados da solução VE2.S1, com ou sem proteção.

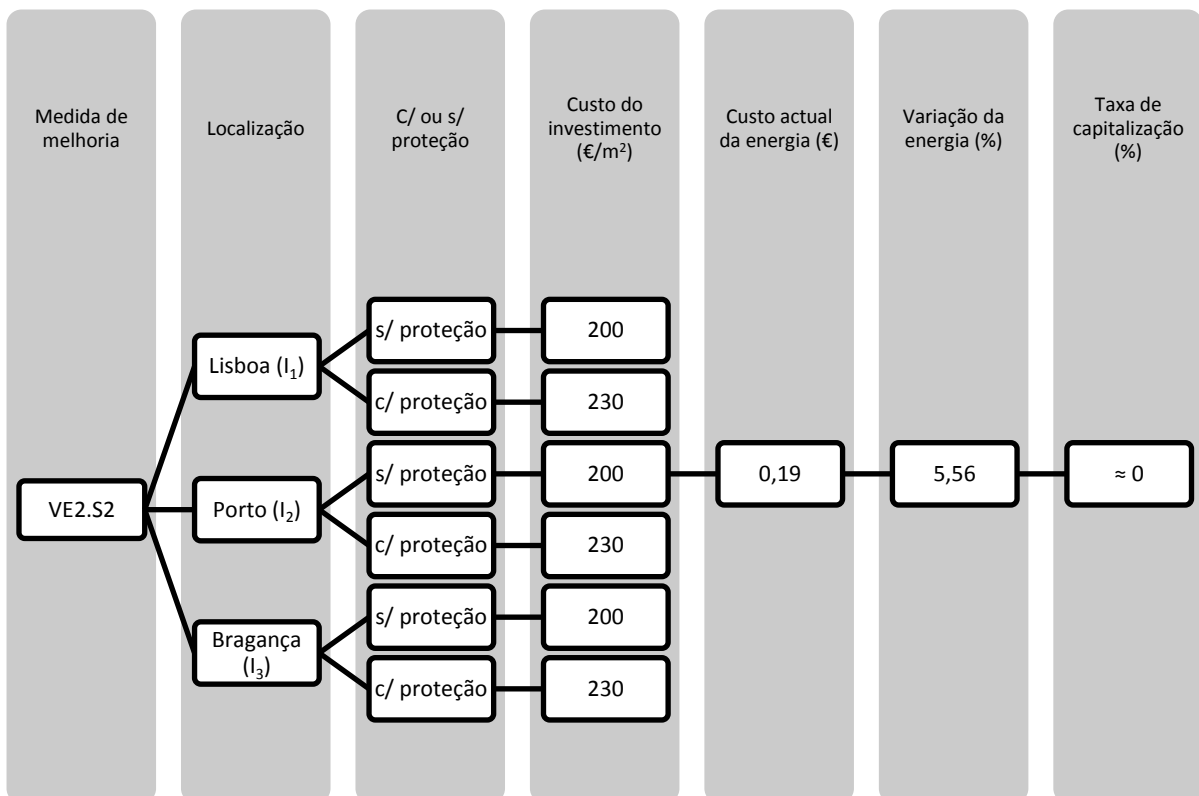


Figura 5.39 Dados da solução VE2.S2, com ou sem proteção.

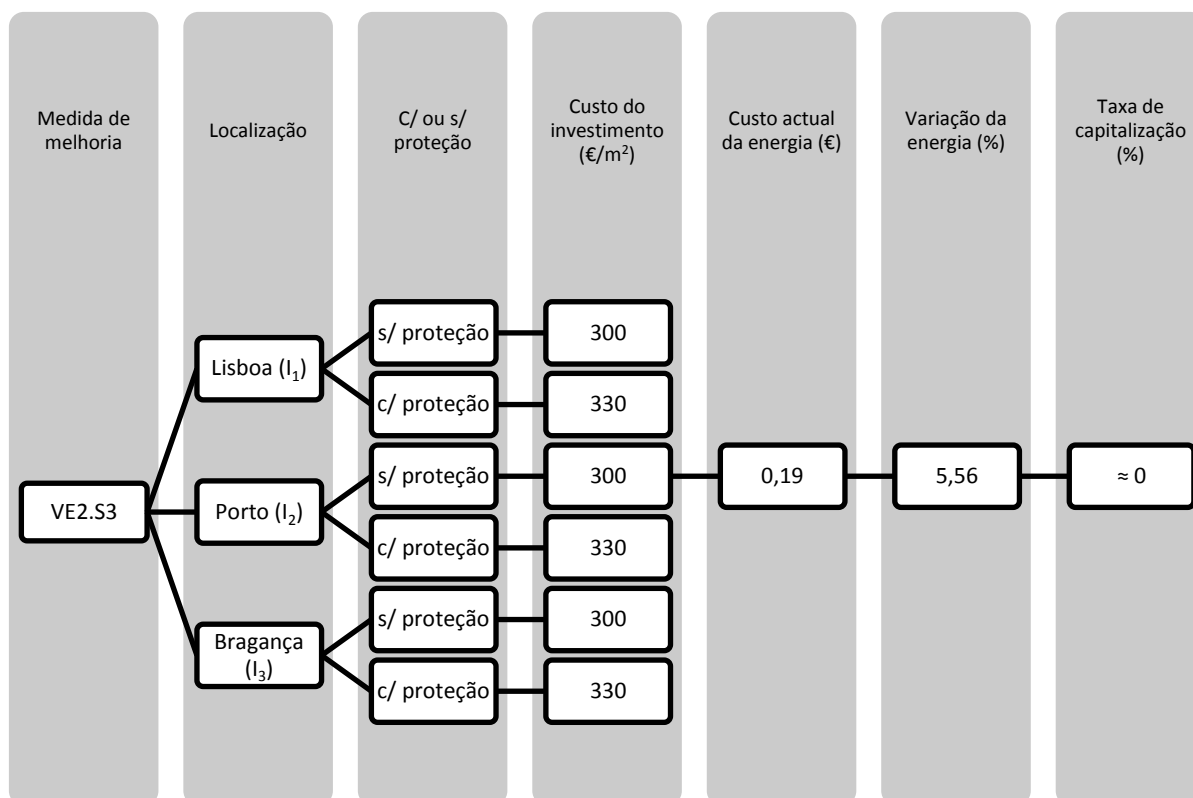


Figura 5.40 Dados da solução VE2.S3, com ou sem proteção.

Com a finalização dos parâmetros atribuídos procede-se a sua análise económica nas figuras e quadros que se seguem.

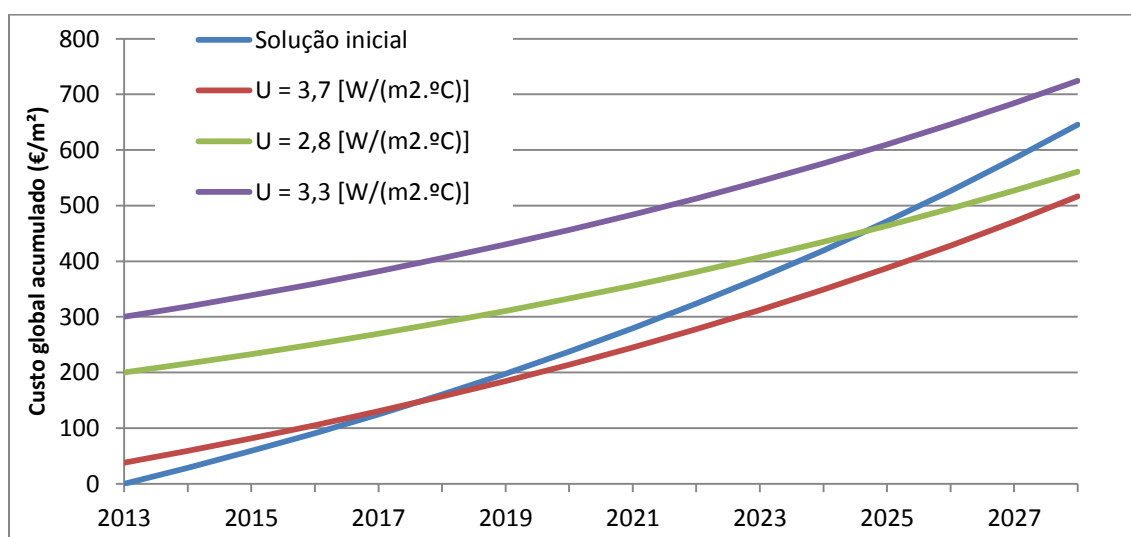


Figura 5.41 - Avaliação económica da solução inicial VE2, sem proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Lisboa (I1).

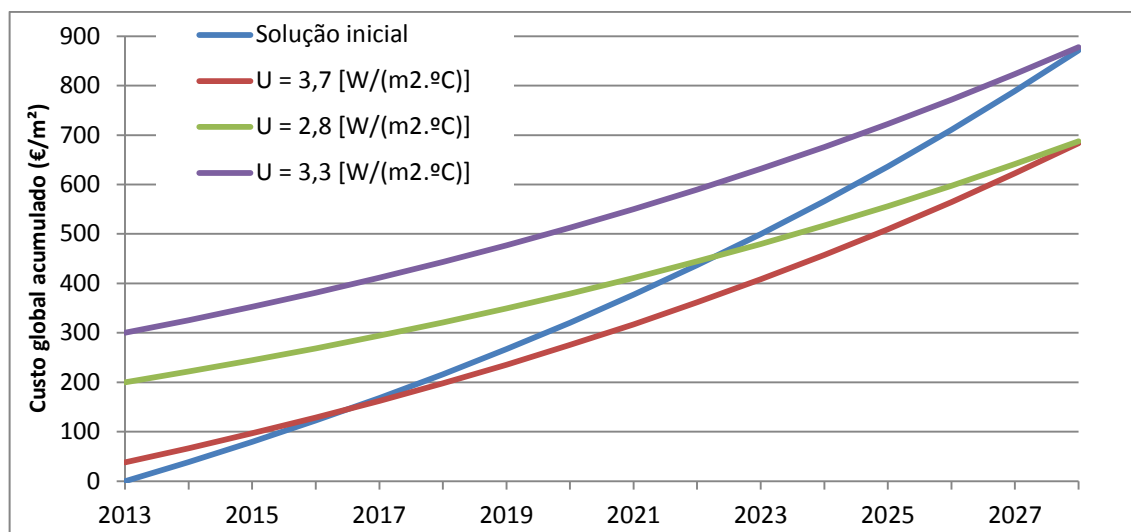


Figura 5.42 - Avaliação económica da solução inicial VE2, sem proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Porto (I2).

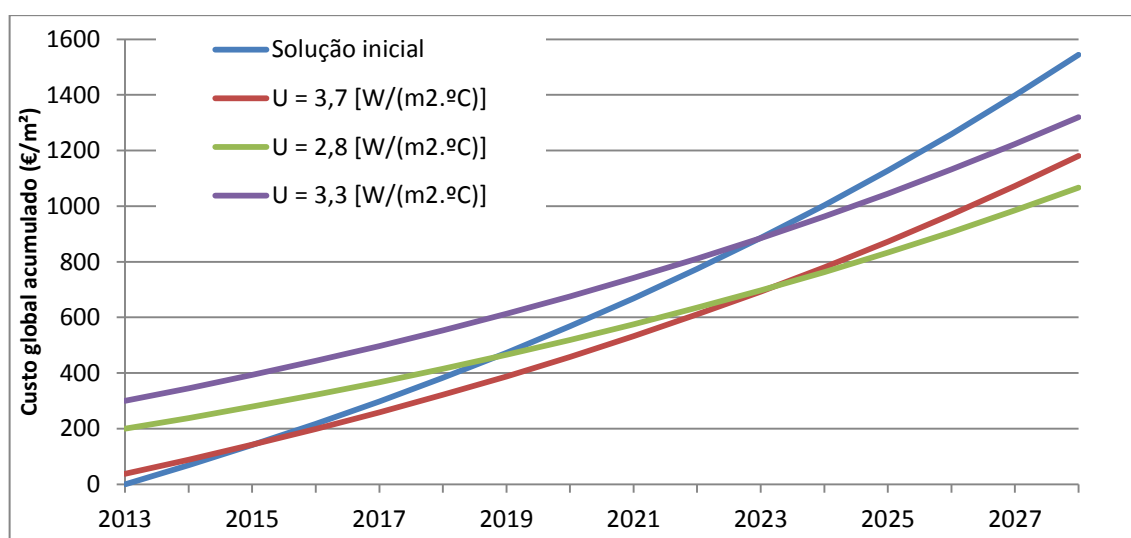


Figura 5.43 - Avaliação económica da solução inicial VE2, sem proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Bragança (I3).

Tabela 5.43 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, sem proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
VE2 s/ proteção	S1	3,7	N1	7,03	38	5	1	53	120
	S2	2,8	N2	11,97	200,00	13	-	-	69
	S3	3,3	N1	9,31	300	19	-	-	-

Tabela 5.44 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, sem proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE2 s/ proteção	S1	3,7	N0	9,50	38	4	15	85	176
	S2	2,8	N1	16,15	200	10	-	9	164
	S3	3,3	N1	12,35	300	16	-	-	-

Tabela 5.45 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, sem proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE2 s/ proteção	S1	3,7	N0	16,91	38	3	56	180	343
	S2	2,8	N1	28,50	200,00	7	-	168	442
	S3	3,3	N1	22,04	300	11	-	-	196

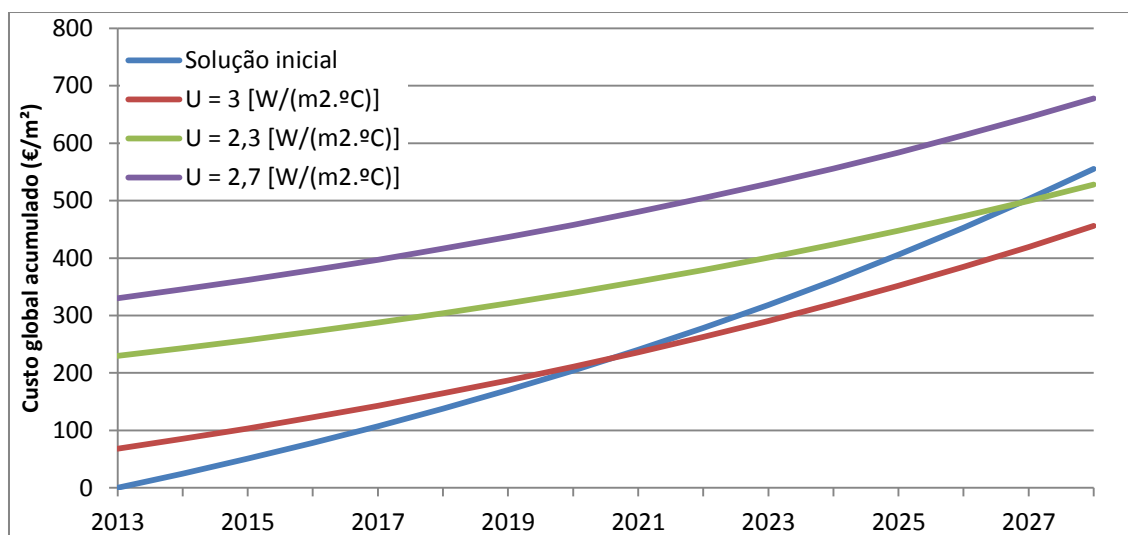


Figura 5.44 - Avaliação económica da solução inicial VE2, com proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Lisboa (I1).



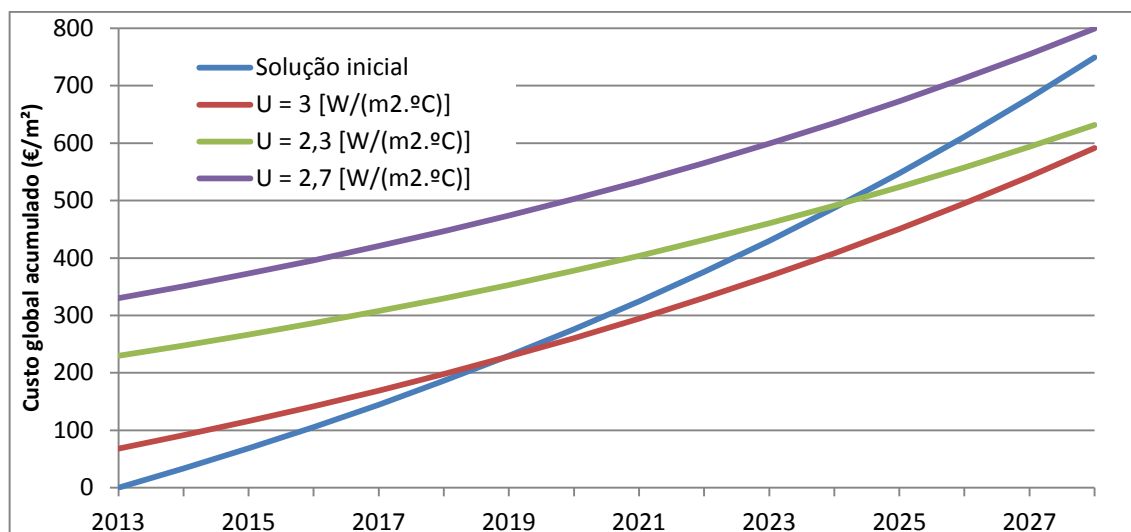


Figura 5.45 - Avaliação económica da solução inicial VE2, com proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Porto (I2).

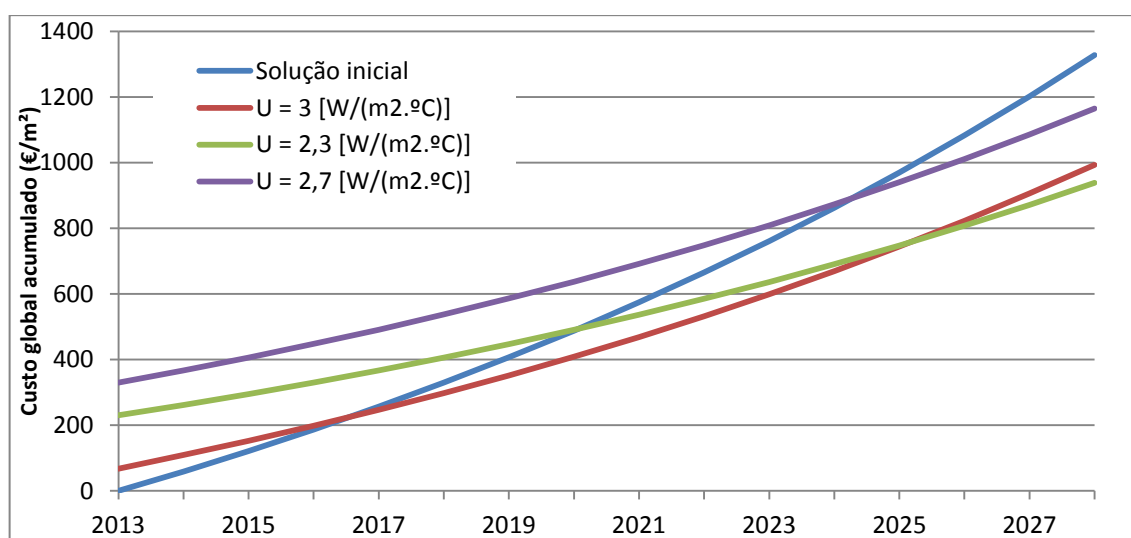


Figura 5.46 - Avaliação económica da solução inicial VE2, com proteção, e para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, para Bragança (I3).

Tabela 5.46 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, com proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Lisboa.

Lisboa (I1) - GD=1190°C.dias									
	Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]		
							5 anos	10 anos	15 anos
VE2 c/ proteção	S1	3	N2	7,03	68	9	-	23	90
	S2	2,3	N3	10,83	230	15	-	-	14
	S3	2,7	N2	8,74	330	21	-	-	-

Tabela 5.47 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, com proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos ao Porto.

Porto (I2) - GD=1610°C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE2 c/ proteção	S1	3	N1	9,50	68	7	-	55	146
	S2	2,3	N2	14,63	230	12	-	-	99
	S3	2,7	N1	11,78	330	18	-	-	-

Tabela 5.48 - Valores da análise económica da solução inicial VE2, com proteção, para as soluções VE2.S1, VE2.S2 e VE2.S3, relativos a Bragança.

Bragança (I3) - GD= 2850 °C.dias									
Solução	Uf [W/(m².°C)]	Nível de qualidade	Poupança anual [€/m²]	Custo investimento [€/m²]	Período de retorno [anos]	Benefício efetivo [€/m²]			
						5 anos	10 anos	15 anos	
VE2 c/ proteção	S1	3	N1	16,91	68	4	26	150	313
	S2	2,3	N2	26,03	230	8	-	106	356
	S3	2,7	N1	20,71	330	12	-	-	136

Novamente, a solução mais vantajosa economicamente para o melhoramento do comportamento energético dos vãos envidraçados seria a colocação de vidro duplo em detrimento do vidro simples, isto porque, com ou sem proteção, os custos de investimento são os menos elevados e os períodos de retorno são para os casos que não têm proteção de 5 anos para a zona I1, 4 anos para a zona I2 e 3 anos para a zona I3, a colocação de proteção aumenta o investimento e os anos de retorno para 9 anos para a zona I1, 7 anos para a zona I2 e 9 anos para a zona I3. Esta solução, como referido anteriormente é uma solução pouco ou quase nunca praticada na reabilitação de edifícios.

As soluções de introdução de uma segunda caixilharia interior (VE2.S2) ou a substituição da caixilharia existente por uma nova (VE2.S3), implicam um grande custo de investimento, segundo valores médios, com evidências positivas no nível de qualidade das soluções, mas com períodos de retorno muito alargados, mais uma vez apenas na zona I3 (Bragança) é que os períodos de retorno são inferiores a 15 anos. Comparando as soluções entre si, conclui-se que a solução de introdução de uma segunda caixilharia pelo interior adquire maiores vantagens a nível energético com custos de investimento menos elevados, períodos de retorno menores, o que leva a afirmar que existe uma vantagem acrescida em relação à solução VE2.S2.

Depois de apresentados os resultados do estudo das soluções de melhoria da eficiência energética sugeridas para os vãos envidraçados para as regiões climáticas de Inverno, segue-se de seguida um quadro resumindo com alguns dos resultados mais relevantes.

Tabela 5.49- Resumo dos resultados das soluções de melhoria energética dos vãos envidraçados, nas zonas climáticas de Inverno.

		Lisboa (I1)				Porto (I2)				Bragança (I3)			
Soluções		VE1.S1		VE2.S1		VE1.S1		VE2.S1		VE1.S1		VE2.S1	
		s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção
Uf [W/m <sup>2</sup> .°C]		2,9	2,5	3,7	3,0	2,9	2,5	3,7	3,0	2,9	2,5	3,7	3,0
Nível de qualidade		N2	N3	N1	N2	N1	N1	N0	N1	N1	N1	N0	N1
Período de retorno [anos]		5	9	5	9	4	7	4	7	3	5	3	4
Benefício efetivo [€/m <sup>2</sup> ]	5 anos	4	-	1	-	19	-	15	-	64	19	56	26
	10 anos	60	18	53	23	94	45	85	55	198	133	180	150
	15 anos	133	82	120	90	193	129	176	146	373	283	343	313
Soluções		VE1.S2		VE2.S2		VE1.S2		VE2.S2		VE1.S2		VE2.S2	
		s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção
Uf [W/m <sup>2</sup> .°C]		2,3	2,0	2,8	2,3	2,3	2,0	2,8	2,3	2,3	2,0	2,8	2,3
Nível de qualidade		N3	N4	N2	N3	N2	N2	N1	N2	N2	N2	N1	N2
Período de retorno [anos]		14	16	13	15	11	13	10	12	7	9	7	8
Benefício efetivo [€/m <sup>2</sup> ]	5 anos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10 anos	-	-	-	-	-	-	9	-	136	55	168	106
	15 anos	44	-	69	14	129	52	164	99	386	266	442	356
Soluções		VE1.S3		VE2.S3		VE1.S3		VE2.S3		VE1.S3		VE2.S3	
		s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção	s/ proteção	c/ proteção
Uf [W/m <sup>2</sup> .°C]		2,5	2,2	3,3	2,7	2,5	2,2	3,3	2,7	2,5	2,2	3,3	3,3
Nível de qualidade		N3	N3	N1	N2	N1	N2	N1	N1	N1	N2	N1	N1
Período de retorno [anos]		24	27	19	21	20	23	16	18	14	16	11	12
Benefício efetivo [€/m <sup>2</sup> ]	5 anos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10 anos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15 anos	-	-	-	-	-	-	-	-	86	-	196	136

Através dos resultados obtidos para as soluções de melhoria da eficiência energética dos vãos envidraçados distingue-se a solução de VE.S1, de substituição do vidro simples por vidro duplo, com a melhor relação de benefício económico efetivo/qualidade, pois é a que consegue reunir níveis de qualidade razoáveis, com períodos de retorno relativamente baixos e benefícios económicos num menor período de anos. Em contrapartida, é aquela que na prática raramente é possível de ser executada.

Comparando as soluções VE.S2, de introdução de uma segunda caixilharia interior, e a VE.S3, de substituição da caixilharia existente por uma nova do mesmo material, é possível afirmar-se que a

primeira torna-se uma solução mais vantajosa. Ora, analisando os níveis de qualidade obtidos constata-se que a solução VE.S2 é aquela com níveis de qualidade mais altos, tanto na solução inicial de madeira como na metálica; com períodos de retorno mais baixos, e com benefício efetivo em 10 anos para a região I3 e, aproximadamente, 15 anos para as regiões I1 e I2, contrastando com a solução VE.S3 que apenas obtém benefícios efetivos em 15 anos para a região I3. Os custos de investimento são maiores para a solução VE.S3, comparativamente à solução VE.S2, tanto para a caixilharia metálica como para a caixilharia de madeira.

Analisando os casos de com e sem proteção pode concluir-se que, perante os resultados obtidos é sempre preferível a colocação de proteção em termos de melhoria do nível de qualidade da eficiência energética do vão envidraçado, sendo necessário analisar casos em concreto para ser possível tomar a melhor decisão a nível económico.

Entre as caixilharias de madeira e metal, pode afirmar-se que, segundo os resultados supracitados, a caixilharia de madeira obtém um melhor comportamento térmico, pois possui um coeficiente de transmissão térmica mais baixo, que resulta numa menor quantidade de calor, por unidade de tempo, que atravessa a superfície do elemento por unidade de diferença de temperaturas entre o interior e o exterior.

A solução a escolher varia consoante a zona climática de Inverno, pois novamente são notáveis as diferenças entre as regiões estudadas, destacando a região I3 (Bragança) com um clima mais severo e rigoroso, logo com necessidades energéticas superiores comparativamente às regiões I1 (Lisboa) e I2 (Porto). Este estudo apenas é viável para um aquecimento de 24 horas diárias.

## 6

## CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

### 6.1. CONCLUSÕES GERAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi importante fazer uma análise inicial do estado dos edifícios existentes, refletindo uma crescente necessidade de intervenção.

A amostra de edifícios reabilitados apresentada nesta dissertação foi composta por cinco edifícios antigos idênticos em termos construtivos e, sendo uma amostra tão reduzida, não permitiu conclusões muito realistas acerca dos tipos de elementos mais comuns em construções antigas. A introdução desta amostra no trabalho encaminhou-se numa perspetiva de contacto com o mundo empresarial da construção civil, mais ligado à reabilitação, possibilitando a visita a algumas obras e, dessa forma, obter uma melhor perceção das intervenções efetuadas neste tipo de obras. A área da reabilitação não é uma área muito explorada a nível académico, faltando algum conhecimento empírico, que é adquirido pela prática, e que não é muitas vezes transmitido aos alunos.

De modo a implementar medidas de melhoria no desempenho global dos edifícios antigos é exigível o prévio conhecimento do seu estado atual daí, ser necessário tipificar as soluções construtivas existentes, no que diz respeito a alguns elementos como, paredes, coberturas e vãos envidraçados.

Na comparação das soluções de melhoria da eficiência energética da envolvente de edifícios estudadas concluiu-se que o desempenho dos edifícios, na estação de aquecimento, é evidentemente dependente da zona climática em que se inserem. Na zona climática de Lisboa (I1), com um clima mais ameno, verificaram-se valores mais elevados para o período de retorno enquanto que, na zona climática de Bragança (I3), com um clima mais severo, os períodos de retorno para as mesmas soluções são muito menores logo, visto que o custo de investimento é o mesmo os gastos energéticos são maiores para Bragança do que para Lisboa. A zona climática do Porto (I2) com um clima moderado, nem muito ameno, nem muito severo, apresenta valores entre médios comparativamente às zonas I1 e I3.

Os elementos da envolvente estudados foram as paredes exteriores, coberturas e vãos envidraçados. Para as paredes exteriores os resultados apontaram que, numa interpretação técnico-económica, as melhores soluções seriam adotar um sistema de isolamento térmico pelo exterior com sistema ETICS ou um sistema de isolamento térmico pelo interior com revestimento interior leve, sendo que a nível de menores custos, menores períodos de retorno e benefícios efetivos mais elevados será a solução de isolamento térmico pelo interior, até porque tem a grande vantagem de permitir a conservação de todo o aspeto arquitetónico exterior do edifício. Uma desvantagem do isolamento térmico pelo interior será a diminuição da área útil do interior do edifício. Relativamente às coberturas conclui-se que a aplicação de isolamento térmico sobre a laje de esteira (teto), em casos do desvão não ser ocupado é a

melhor solução comparativamente à aplicação de isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente na situação do desvão ser ocupado, isto porque, os seus níveis de qualidade são maiores, os períodos de retorno são menores, o custo de investimento é menor e o benefício efetivo é maior. No que respeita aos vãos envidraçados, pode concluir-se que a melhor solução aplicada à prática de obras de reabilitação será a introdução de uma segunda caixilharia interior, comparativamente à substituição total da caixilharia existente, porque os custos de investimento e os períodos de retorno são menores, o nível de qualidade é maior e os benefícios económicos efetivos são maiores, sempre que possível colocando proteção de persianas ou estore.

Para o estudo efetuado surgiram bastantes dificuldades relativamente à atribuição dos custos reais associados às soluções apresentadas, pois não existem bases de dados atuais de valores de mercado para soluções de reabilitação em Portugal. Posto isto, será importante este tipo de estudos para situações reais e concretas.

Finalmente, não poderia deixar de se salientar que as intervenções propostas hoje devem ser perspectivadas no futuro dado que, os edifícios que serão intervencionados terão um período longo de utilização e, também deve ser tido em conta soluções facilmente executáveis, cujo retorno de investimento ocorra num período aceitável, sempre tendo em conta a qualidade arquitetónica dos edifícios e a durabilidade das soluções. Isto é, deve sempre optar-se pelo justo necessário, dimensionando e especificando as medidas de melhoria mais adequadas, nem excessivas nem redutoras, para cada edifício que se pretenda reabilitar.

## 6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na análise dos custos de investimento foi necessário em alguns casos a utilização do *site* de gerador de preços do CYPE *Ingenieros*, observando-se algumas dificuldades na obtenção de custos devido à sua grande complexidade e extensão, por vezes torna-se um pouco aquém dos custos praticados no mercado da reabilitação. Posto isto, seria importante que num futuro próximo fossem criadas bases de dados possíveis de atribuir valores de custos mínimos, médios e máximos adaptados às soluções de reabilitação praticadas em Portugal, facilitando a sua pesquisa para quaisquer estudos do mesmo tipo que a presente dissertação retrata entre outros.

Também era importante que, futuramente existissem regulamentos específicos e normas mais adaptadas à reabilitação de edifícios para que, dessa forma, os trabalhos desenvolvidos nessa área sofressem um maior controlo.

## BIBLIOGRAFIA

- Appleton, J. (2003). *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção*. Edições ORION. Lisboa.
- Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C. (2000) *Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries*. NDT&E International, Elsevier.
- Branco, J., Cruz, P., Piazza, M. (2006). *Asnas de madeira. A importância da rigidez das ligações*. 4 as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas., 13 a 16 de Dezembro de 2006, LNEC e GPBE Lisboa, 13 páginas.
- Clement, P. (1997) *Metal Windows. The Building Conservation Directory*, Wiltshire.
- Costa, F. (1939). *Enciclopédia prática da construção civil – Obras de alvenaria*. Portugália editora. Lisboa.
- Fernandes, D. (2012). *Estudo sobre a realidade da reabilitação de edifícios em Portugal – Abordagem térmico-energética*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Fernandes, M. (2007). *Património de Terra: universalidade das técnicas*. <http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jaguiar/MariaFernandesTERRA1.pdf>. Abril 2013.
- Filho, J., Pimentel, K. (1999). *Manual de conservação de telhados*.
- Flores-Colen, I. et al. *Paredes*. Trabalho realizado com o apoio do programa Operacional Sociedade da Informação – POSI. Instituto Superior Técnico.
- Freitas, V. P. de, Guimarães, A., Ferreira, C., Alves, S. (2011). *Edifícios Existentes-Medidas de Melhoria de Desempenho energético e da Qualidade do Ar Interior*. ADENE, Lisboa.
- Freitas, V. P. de, Pinto, P. (1998). *Permeabilidade ao vapor de materiais de construção - Condensações Internas. Nota de Informação Técnica – NIT\_002.LFC/FEUP*. Porto.
- Freitas, V. P. de, Torres, M., Guimarães, A. (2008). *Humidade Ascensional*. FEUP edições. Porto.
- Freitas, V. P. de et al (2012). *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto.
- Griffiths, B. (1981). *Inflação: o preço da prosperidade*. Pioneira. São Paulo.
- HUD (1999) *Windows & Doors. The Rehab Guide, Volume 4*. Department of Housing and Urban Development, Washinton.
- INE. (2011a). *Resultados Provisórios: Censos 2011*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- INE. (2011b). *Resultados Definitivos: Censos 2011*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- INE. (2012a). *Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001 - 2011*.Lisboa.
- INE. (2012b). *Estatísticas da Construção e Habitação 2011*. Lisboa.
- Instituto Português da Qualidade (2008).NP EN 12519:2008 – *Janelas e portas pedonais – Vocabulário*. Lisboa.
- Lages, A. (1994). *Coberturas de Edifícios - Aplicação de um Sistema Pericial na Avaliação do Custo e Qualidade*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Nordhaus, S. (1998). *Economia*. McGraw-Hill. Lisboa.

- NP 1037 – 1:2002 (2002). *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural*. Instituto Português da Qualidade.
- Oliveira, E., Galhano, F. (1992). *Arquitectura tradicional Portuguesa*. Publicações D. Quixote, Lisboa.
- Pinto, A., Fernandes, O. (2010) *Janelas e portas pedonais exteriores: guia para a marcação CE*. LNEC, Lisboa.
- RCCTE, (2006). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios*. Decreto-Lei nº 80/2006.
- Rossetti, J. P. (1997). *Introdução à economia*. Atlas. São Paulo.
- RSECE, (2006). *Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios* Decreto-Lei nº 79/2006.
- Ruivo, J. (2010). *Adequação dos Regulamentos nas Áreas da Térmica, Acústica, Segurança Contra Incêndios e Ventilação à Reabilitação de Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Santos, A. (2009). *Reabilitação térmica de coberturas de edifícios antigos – Avaliação de soluções do ponto de vista técnico-económico*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Santos, A. (2012). *Sistema de inspecção e diagnóstico de caixilharias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa e Academia Militar.
- Santos, V. (2009). *Avaliação do comportamento de asnas antigas de madeira de grande vão*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade de Aveiro.
- Santos, C., Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Segurado, J. *Trabalhos de Carpintaria Civil*. Biblioteca de Instrução Profissional. Livraria Bertrand, Lisboa.
- Silva, A. (1991). *Caracterização das Infiltrações Médias Anuais em Edifícios Portugueses Através do Método de Pressurização*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Silva, T. (2008). *Estudo Experimental do Comportamento Higrotérmico de Igrejas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Sousa, P. de (1999) *A Madeira como Material de Construção*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Teixeira, J. (2004) *Descrição do Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX*. Trabalho de síntese apresentado à Universidade Lusíada, Porto.
- Tutton, M., Hirst, E. (2007) *Windows – History, Repair and Conservation*. Donhead Publishing Ltd, Dorset.



## Sites

- [1][http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0000969&contexto=bd&selTab=tab2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000969&contexto=bd&selTab=tab2). Março 2013.
- [2][http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0006048&contexto=bd&selTab=tab2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0006048&contexto=bd&selTab=tab2). Março 2013.
- [3][http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_indicador&contexto=ind&indOcorrCod=0006249&selTab=tab10](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_indicador&contexto=ind&indOcorrCod=0006249&selTab=tab10). Março 2013.
- [4][http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0006249&contexto=bd&selTab=tab2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0006249&contexto=bd&selTab=tab2). Março 2013.
- [5]<http://www.cpci.pt/archives/996>. Março 2013.
- [6][http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=168&tipoSelecao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=168&tipoSelecao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true). Março 2013.
- [7][http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id\\_menu=20](http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=20). Março 2013.
- [8][http://www.geocaching.com/seek/cache\\_details.aspx?wp=GC25H33](http://www.geocaching.com/seek/cache_details.aspx?wp=GC25H33). Abril 2013.
- [9][http://campusstellae1.blogspot.pt/2011\\_03\\_06\\_archive.html](http://campusstellae1.blogspot.pt/2011_03_06_archive.html). Abril 2013.
- [10]<http://pt.dreamstime.com/imagens-de-stock-royalty-free-parede-de-pedra-branca-image18563469>. Abril 2013.
- [11]<http://lugar-pedrinhas.blogspot.pt/p/arquitectura-vernacula.html>. Abril 2013.
- [12][http://arquiteturadouro.blogspot.pt/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://arquiteturadouro.blogspot.pt/2010_12_01_archive.html). Abril 2013.
- [13]<http://olhares.sapo.pt/alma-de-tabique-foto3500902.html>. Abril 2013
- [14]<http://www.paulojones.com/tecnicas/tijolo.htm>. Maio 2013
- [15]<http://oficinadacultura.blogspot.pt/2011/01/muitas-viagens-pelo-porto.html>. Maio 2013
- [16]<http://www.esperiencia.blogspot.pt/>. Maio 2013
- [17]<http://oolhareover.blogspot.pt/2007/12/as-janelas.html>. Maio 2013
- [18]<http://www.luminar.ind.br/modelos.htm>. Maio 2013
- [19]<http://arkideias.com/2012/05/08/de-portas-abertas/>. Maio 2013
- [20]<http://poraescritaemdia.blogspot.pt/2009/11/janelas.html>. Maio 2013
- [21]<http://www.janelasapa.com/content/default.asp?idcat=TIPOLOGIAS&idCatM=PRODUTOS&idContent=74884A91-F6A5-40FE-855A-77669F007796>. Maio 2013
- [22]<http://chicailheu.blogs.sapo.pt/764420.html>. Maio 2013
- [23]<http://www.br.all.biz/janela-de-correr-vidrinho-g88598>. Maio 2013
- [24]<http://www.clasf.com.br/q/janela-colonial-reta/>. Maio 2013
- [25]<http://www.digiforum.com.br/viewtopic.php?p=230417&sid=bebcc68e780fa0a0825945ef7cac23ab>. Maio 2013
- [26]<http://mebsite.ru/door/1414.html>. Maio 2013
- [27][http://lubafil.com/detalhe.php?cat\\_id=1&sub\\_id=24&id=5](http://lubafil.com/detalhe.php?cat_id=1&sub_id=24&id=5). Maio 2013

- [28]<http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/caixilharia-de-qualidade>. Maio 2013
- [29] <http://www.ecoarkitekt.com/eficiencia-energetica/vaos-vidracados/#.UYj7DbXvuJk>. Maio 2013
- [30]<http://olhares.uol.com.br/janela-antiga-foto3105689.html>. Maio 2013
- [31][http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva\\_produtos\\_construcao](http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao). Junho 2013
- [32]<http://info.portaldasfinancas.gov.pt/NR/rdonlyres/BCC733E7-969F-483F-AC87-5E6DDA287D90/0/INFORMA%C3%87%C3%83O.1271.pdf>. Junho 2013
- [33]<http://www.dgeg.pt/>. Maio 2013
- [34]<http://pt.euribor-rates.eu/euribor-taxa-12-meses.asp>. Maio 2013
- [35][http://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflacao+\(Taxa+de+Variacao+++Indice+de+Precos+no+Consumidor\)-138](http://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflacao+(Taxa+de+Variacao+++Indice+de+Precos+no+Consumidor)-138). Maio 2013
- [36][http://www.jornaldenegocios.pt/mercados/taxas\\_de\\_juro\\_\\_\\_credito/detalhe/o\\_que\\_eacute\\_a\\_euribor.html](http://www.jornaldenegocios.pt/mercados/taxas_de_juro___credito/detalhe/o_que_eacute_a_euribor.html). Junho 2013
- [37]<http://creditos-portugal.com/spread-bancario-portugal/>. Junho 2013
- [38]<http://www.optiterm-lfc.com/>. Maio 2013
- [39]<http://freemeteo.com/default.asp?pid=15&la=18&cn=PT>. Maio 2013